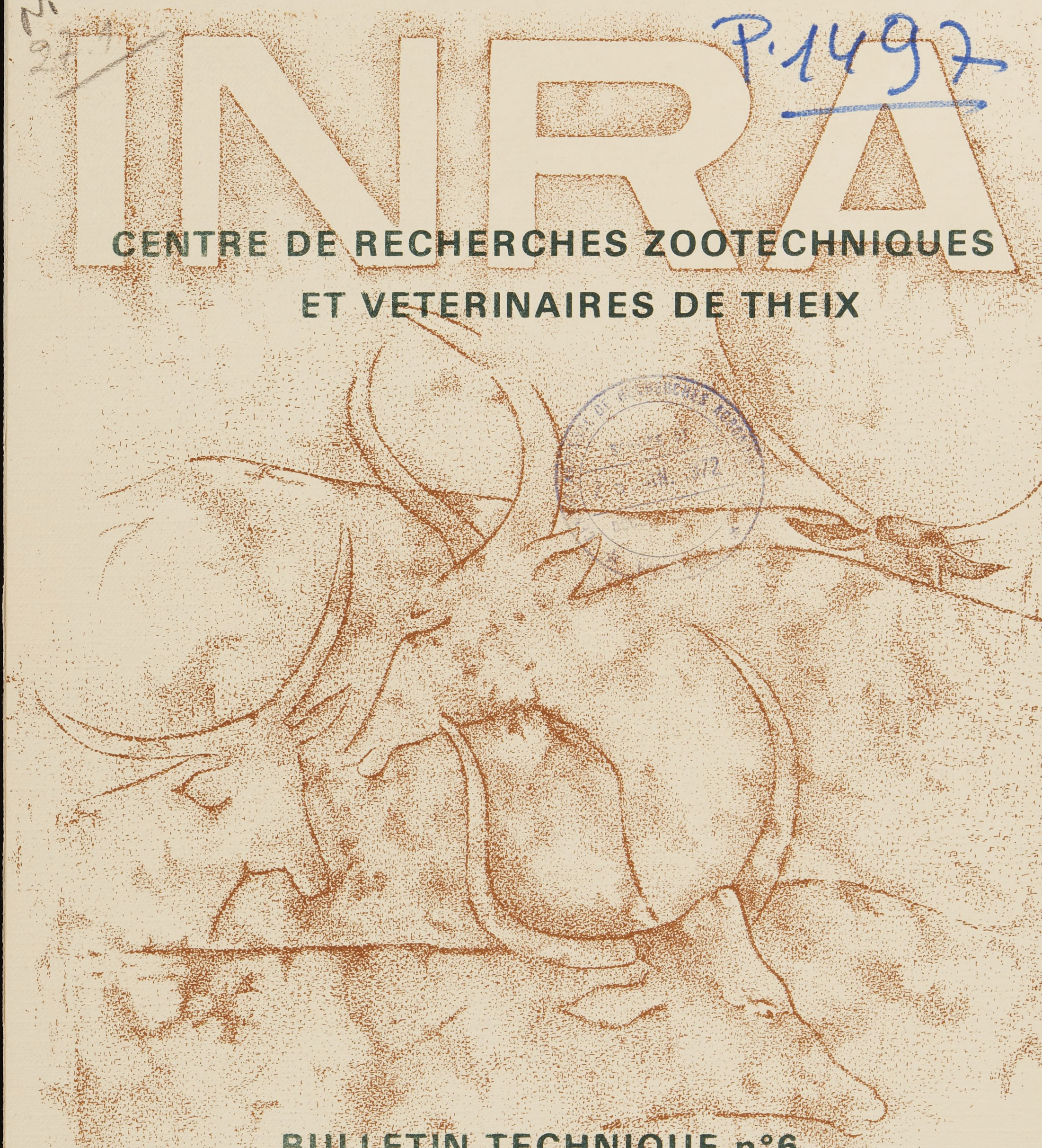
P.1492

INRA

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES ET VETERINAIRES DE THEIX

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES
1972



BULLETIN TECHNIQUE n°6

(TRIMESTRIEL)

DECEMBRE 1971

BTT-6

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

CENTRE DE RECHERCHES ZOOTECHNIQUES

ET VETERINAIRES DE THEIX

BULLETIN TECHNIQUE n°6

C.R.Z.V.
63-SAINT GENÈS CHAMPANELLE-
Tél. (73) 92-24-53

Editions S.E.I.
C.N.R.A. - VERSAILLES

DECEMBRE 1971

SOMMAIRE

PAGE

VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES DES PRAIRIES CULTIVEES ET DES PRAIRIES NATURELLES

DEMARQUILLY C. et JARRIGE R. ---------- 5

UTILISATION PAR LES VACHES LAITIERES DE LUZERNES DESHYDRATEES AGGLOMEREES ASSOCIEES OU NON A DES ENSILAGES DE MAIS OU D'HERBE

HODEN A. et JOURNET M. ---------- 27

EVOLUTION DE QUELQUES PROPRIETES MECANIQUES DU MUSCLE PENDANT LA MATURATION

SALE P. ---------- 35

UTILISATION COMPAREE DE L'ENSILAGE DE MAIS ET DU MAIS DESHYDRATE POUR LA PRODUCTION DE JEUNES BOVINS

MALTERRE C., GEAY Y., BERTIN G., HUGUET L., PELOT J., avec la collaboration de JAILLER R., HENAULT P. et SIMEON M. ---------- 45

VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES DES PRAIRIES CULTIVEES ET DES PRAIRIES NATURELLES *

C. DEMARQUILLY et R. JARRIGE

Station de Recherches sur l'Elevage des Ruminants

Ω Ω Ω

Du point de vue nutritionnel un fourrage est caractérisé par sa valeur nutritive (valeur énergétique, teneur en matières azotées digestibles, minéraux, ...) et par son ingestibilité, c'est-à-dire la quantité qu'en ingère le ruminant qui reçoit ce fourrage *ad libitum*. Ces deux paramètres dépendent avant tout de la composition morphologique et de la composition chimique de la plante.

Ce fait est bien connu en ce qui concerne la digestibilité de la matière organique, laquelle détermine la valeur énergétique du fourrage. Comme l'ont proposé FAUCONNEAU et JARRIGE (1957), on peut distinguer deux groupes de constituants dans la plante : 1°) les constituants du contenu cellulaire: sucres et fructosanes, acides organiques, matières azotées, lipides,... ; leur digestibilité réelle chez le ruminant est totale (glucides) ou quasi totale (protéines - lipides) ; 2°) les constituants des membranes : d'une part les polysaccharides, cellulose, hémicelluloses et substances pectiques, qui ont une digestibilité très variable(de plus de 90 % à moins de 40 %), d'autre part la lignine qui peut être considérée comme étant pratiquement indigestible. Le coefficient de digestibilité de la matière organique dépend donc essentiellement de la proportion et de la digestibilité des membranes ; elle diminue quand augmente la proportion des membranes ainsi que leur degré de lignification (cf. par exemple JARRIGE et MINSON, 1964).

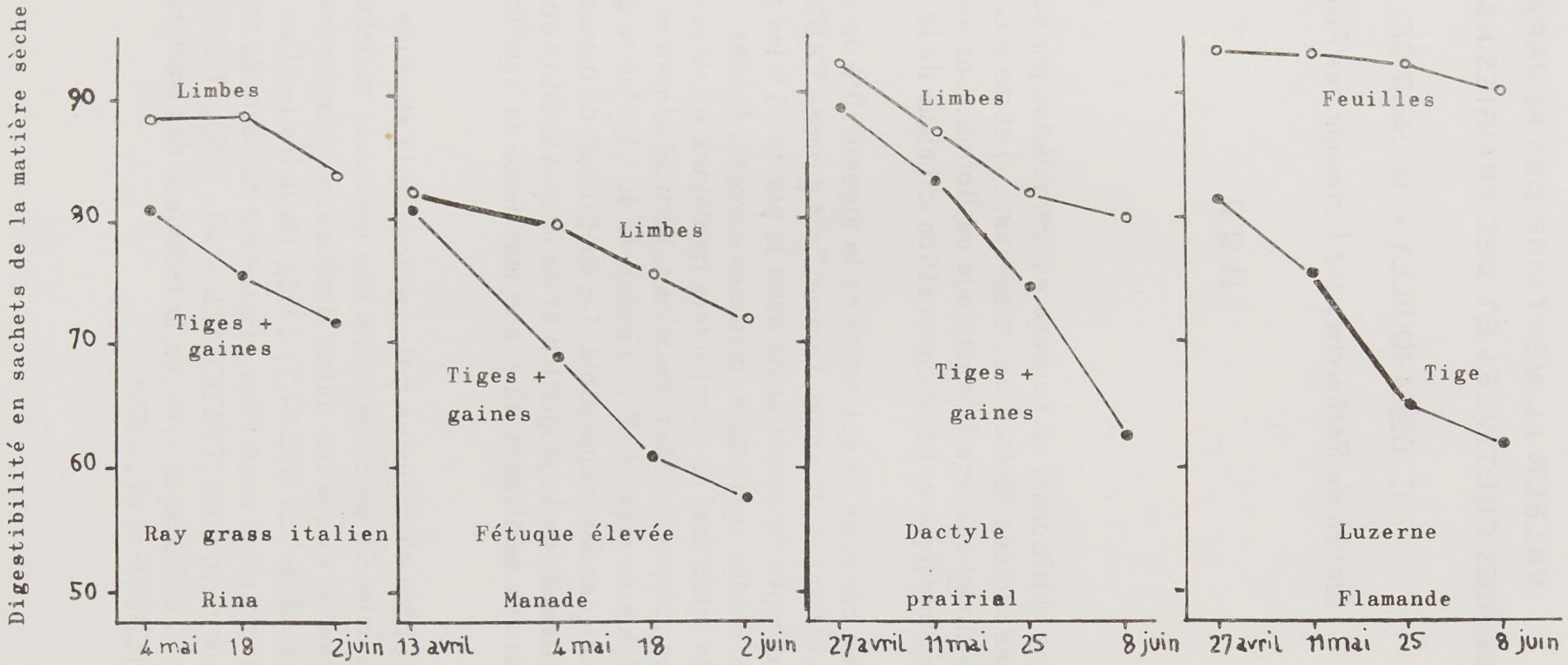
Mais la composition chimique ne fait que traduire la structure histologique et la composition morphologique de la plante. On peut considérer que les tissus cellulosiques (parenchymes...) sont en général entièrement digérés et que les tissus lignifiés (sclérenchymes, tissus conducteurs...) sont presque entièrement indigestibles (E. GRENET, 1966). Enfin les feuilles sont plus digestibles que les tiges, la différence s'accroissant avec l'âge, notamment au cours du premier cycle de croissance (cf. figure 1) ; cela a été montré *in vitro* (PRITCHARD et al., 1963 ; TERRY et TILLEY 1964 ; MOWAT et al., 1965 ; WALTERS et al., 1967) ou *in vivo* par la technique des sachets de nylon (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969 ; CHENOST et al., 1970).

---

* *Version française d'un texte présenté à la 4ème Assemblée générale de la Fédération Européenne des Herbages (Lausanne - Suisse - 14-19 juin 1971)*

FIGURE I

EVOLUTION AU COURS DU 1er CYCLE DE VEGETATION
DE LA DIGESTIBILITE EN SACHETS DE NYLON A 48 heures DES FEUILLES ET DES TIGES



Les fourrages font obligatoirement escale dans le rumen (+ réseau) ; environ les deux tiers de la matière organique digestible y sont digérés par la population microbienne ; la portion non digérée y est réduite à l'état de particules qui doivent être suffisamment fines pour franchir l'orifice réticulo omosal (cf. notamment les revues de BALCH et CAMPLING, 1962-1969 et de WALDO, 1969). L'ingestibilité des fourrages varie en sens inverse de l' effet d'encombrement qu'ils exercent dans le rumen. Elle dépend donc : 1°) de la quantité d'indigestible, ou ballast, contenu dans le fourrage et 2°) de la vitesse à laquelle le fourrage est dégradé par la population microbienne et son indigestible réduit à l'état de fines particules. La masse des membranes joue un rôle prépondérant puisqu'elle contient les fractions indigestibles (tissus lignifiés) et qu'elle est dégradée le plus lentement. Le contenu cellulaire est dégradé rapidement ; il détermine en bonne partie l'activité de la population microbienne par les éléments nutritifs et les facteurs de croissance qu'il lui apporte et par les conditions physico-chimiques qu'il crée dans le rumen. En définitive, toutes les caractéristiques du fourrage qui déterminent sa digestibilité agissent aussi, et le plus souvent dans le même sens, sur son ingestibilité, ce qui explique la liaison positive relativement étroite entre la digestibilité et l'ingestibilité (BLAXTER et al., 1961), tout au moins pour une espèce fourragère donnée (DEMARQUILLY, 1965).

Nous allons résumer lesprincipales causes de variation de la valeur alimentaire des espèces fourragères pures. Nous situerons ensuite par rapport à elles les variations observées sur les fourrages de prairies naturelles. Nous utiliserons essentiellement les résultats des études systématiques qui ont été poursuivies au cours des 10 dernières années dans notre laboratoire ; elles ont porté sur plus de 1.000 échantillons de fourrages verts et 200 échantillons de fourrages conservés dont on a mesuré la digestibilité et l'ingestibilité sur des moutons. L'origine des échantillons, les méthodes de mesures et de calcul et les principaux résultats ont été exposés dans la brochure « Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages » de DEMARQUILLY et WEISS (1970). Le tableau 1 sur la luzerne en est extrait. Nous n'avons pas eu le temps de procéder à une étude bibliographique exhaustive ; qu'on veuille bien nous en excuser et se reporter aux revues de RAYMOND (1966), de CORBETT (1969) et de STAHLIN (1969).

Tableau I page suivante.

I - VARIATIONS DE LA VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES VERTS

1. Espèces Pures

Le coefficient de digestibilité de la matière organique des fourrages verts peut varier dans des limites très larges : 85 à 50 %. Il en résulte des variations encore plus grandes de la valeur énergétique : 1,00 à 0,45 U.F./kg de matière sèche.

a) Evolution au cours du premier cycle de croissance

Au cours du premier cycle de végétation, la digestibilité d'une espèce donnée dépend presque exclusivement de son stade de développement. Chez les graminées (figure 2 A-tableau 2) elle présente des valeurs élevées au début de la végétation (voisines de 85 % pour le ray-grass anglais et la fétuque des prés, et de 80 % pour le dactyle et la fléole) et elle diminue lentement jusqu'à un stade compris entre le stade «épi à 10 cm» et le début de l'épiaison ; ce palier est plus ou moins marqué selon les espèces et, pour une espèce donnée, selon la précocité des variétés : important chez les variétés tardives de ray-grass anglais, il est quasi inexistant chez le ray-grass italien, la fléole et la fétuque élevée. La digestibilité diminue ensuite de façon continue et rapide, de 0,3 à 0,5 point par jour environ, pour atteindre à la floraison des valeurs voisines de 65 % chez les ray-grass et la fétuque des prés et de 57 % chez le dactyle, la fléole, la fétuque élevée. La digestibilité des légumineuses

TABLEAU I

COMPOSITION MORPHOLOGIQUE, COMPOSITION CHIMIQUE, VALEUR NUTRITIVE,
INGESTIBILITE ET PRODUCTION PAR HECTARE DE LA LUZERNE

STADES de développement du premier cycle et AGE des repousses (en semaines)	Nombre d'échantillons	Hauteur de la plante (cm)	COMPOSITION MORPHOLOGIQUE (en p. 100 de la matière sèche)			Teneur en matière sèche en p. 100	COMPOSITION CHIMIQUE (en p. 100 de la matière sèche)			VALEUR NUTRITIVE			QUANTITES INGEREES			PRODUCTION A L'HECTARE		
			Feuilles	Fleurs	Tiges		Cendres	Matières azotées totales (M.A.T.)	Cellulose brute	Digestibilité de la matière organique (en p. 100)	Valeur énergétique (U.F.)	Matières azotées digestibles (g) (M.A.D.)	Quantités de matière sèche ingérées (g/kg P 0,75)	Indice des quantités ingérées	Indice de valeur alimentaire	Matière sèche (tonnes)	U.F.	M.A.D. (kg)
PREMIER CYCLE																		
Végétatif	4	30	56 (62 à 52)	-	41 (34 à 46)	15 (13 à 16)	13 (14 à 12)	26 (28 à 23)	20 (17 à 23)	78 (81 à 75)	0,84	210	-	-		2,0 (1,1 à 2,9)	1 700	430
Végétatif	4	60	44 (51 à 40)	-	54 (48 à 58)	16 (14 à 17)	11 (12 à 10)	23 (25 à 21)	27 (25 à 29)	73 (76 à 69)	0,75	185	83 (84 à 82)	119	124	4,0 (3,3 à 4,7)	3 000	700
Début bourgeonnement	4	75	38 (46 à 29)	-	59 (52 à 66)	17 (16 à 18)	11 (12 à 10)	21 (23 à 19)	29 (27 à 31)	68 (71 à 67)	0,67	170	82 (83 à 79)	117	110	5,2 (3,9 à 6,4)	3 300	785
Bourgeonnement	4	85	34 (40 à 27)	-	63 (60 à 67)	18 (17 à 20)	10 (11 à 9)	20 (21 à 18)	31 (30 à 32)	67 (70 à 65)	0,64	160	80 (81 à 78)	114	102	5,4 (4,4 à 6,4)	3 500	800
Début floraison	4	95	33 (43 à 25)	0,3 (0,1 à 0,7)	64 (55 à 71)	20 (18 à 22)	10 (11 à 9)	19 (20 à 18)	32 (31 à 35)	63 (68 à 60)	0,57	150	75 (80 à 70)	107	85	6,0 (5,4 à 6,6)	3 450	870
Floraison	4	110	30 (36 à 25)	1,1 (0,8 à 1,5)	65 (61 à 71)	22 (20 à 24)	9 (10 à 8)	18 (19 à 16)	33 (34 à 36)	60 (65 à 57)	0,51	140	72 (78 à 75)	103	73	6,2 (5,3 à 7,1)	3 350	930
REPOUSSES DE 2ème CYCLE																		
5	2	60	46 (48 à 44)	-	51 (50 à 52)	19 (18 à 20)	10 (11 à 9)	22 (23 à 22)	30 (28 à 32)	67 (68 à 66)	0,65	175	90 (94 à 87)	129	117	2,4 (2,2 à 2,6)	1 500	420
7	4	80	36 (37 à 35)	1,6 (0,1 à 3, 8)	60 (57 à 65)	21 (19 à 23)	10 (11 à 9)	20 (21 à 19)	32 (33 à 34)	64 (67 à 60)	0,58	150	78 (79 à 77)	111	90	3,6 (2,9 à 4,3)	2 400	565
9	2	100	30 (33 à 25)	3,0 (0,1 à 5,9)	64 (63 à 66)	23 (20 à 26)	10 (11 à 9)	18 (19 à 18)	34 (35 à 36)	58 (61 à 56)	0,48	145	68 (75 à 60)	97	65	5,1 (5,0 à 5,2)	2 600	750
REPOUSSES DE 3ème CYCLE																		
5	4	65	46 (47 à 45)	1,0 (0,1 à 2,2)	48 (45 à 53)	21 (18 à 24)	11 (12 à 10)	24 (26 à 21)	28 (26 à 30)	68 (69 à 67)	0,66	195	78 (85 à 71)	111	103	2,3 (1,8 à 2,9)	1 550	450
7	3	70	41 (43 à 39)	2,2 (0,1 à 4,3)	54 (53 à 55)	22 (19 à 24)	11 (12 à 10)	22 (24 à 20)	30 (29 à 31)	64 (67 à 60)	0,58	180	75 (82 à 68)	107	87	2,5 (2,0 à 3,0)	1 450	435
9	3	75	44 (49 à 39)	2,1 (0,1 à 4,1)	51 (50 à 52)	24 (21 à 26)	11 (12 à 10)	20 (22 à 19)	28 (27 à 29)	62 (65 à 60)	0,54	160	75 (85 à 65)	107	81	3,1 (2,9 à 3,3)	1 600	390
REPOUSSES DE 4ème CYCLE																		
5	2	35	56 (57 à 55)	-	32 (27 à 38)	19 (17 à 21)	15 (16 à 13)	26 (28 à 24)	21 (19 à 23)	71 (72 à 70)	0,69	210	-	-	-	1,4 (1,0 à 1,8)	900	275
7	3	35	53 (60 à 50)	-	37 (32 à 43)	20 (17 à 23)	15 (17 à 14)	24 (26 à 23)	21 (19 à 23)	70 (72 à 69)	0,68	195	83 (84 à 81)	119	113	1,6 (1,2 à 1,8)	1 000	285
9	2	40	50 (55 à 46)	-	41 (39 à 44)	22 (19 à 25)	15 (17 à 13)	23 (21 à 25)	23 (21 à 25)	68 (69 à 66)	0,61	180	75 (75 à 70)	107	91	1,6 (1,2 à 1,8)	900	260

FIGURE II

LIAISONS ENTRE LA DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE ET (A) LE STADE DE VEGETATION (B) LA TENEUR EN CELLULOSE BRUTE AU COURS DU 1er CYCLE DE CROISSANCE

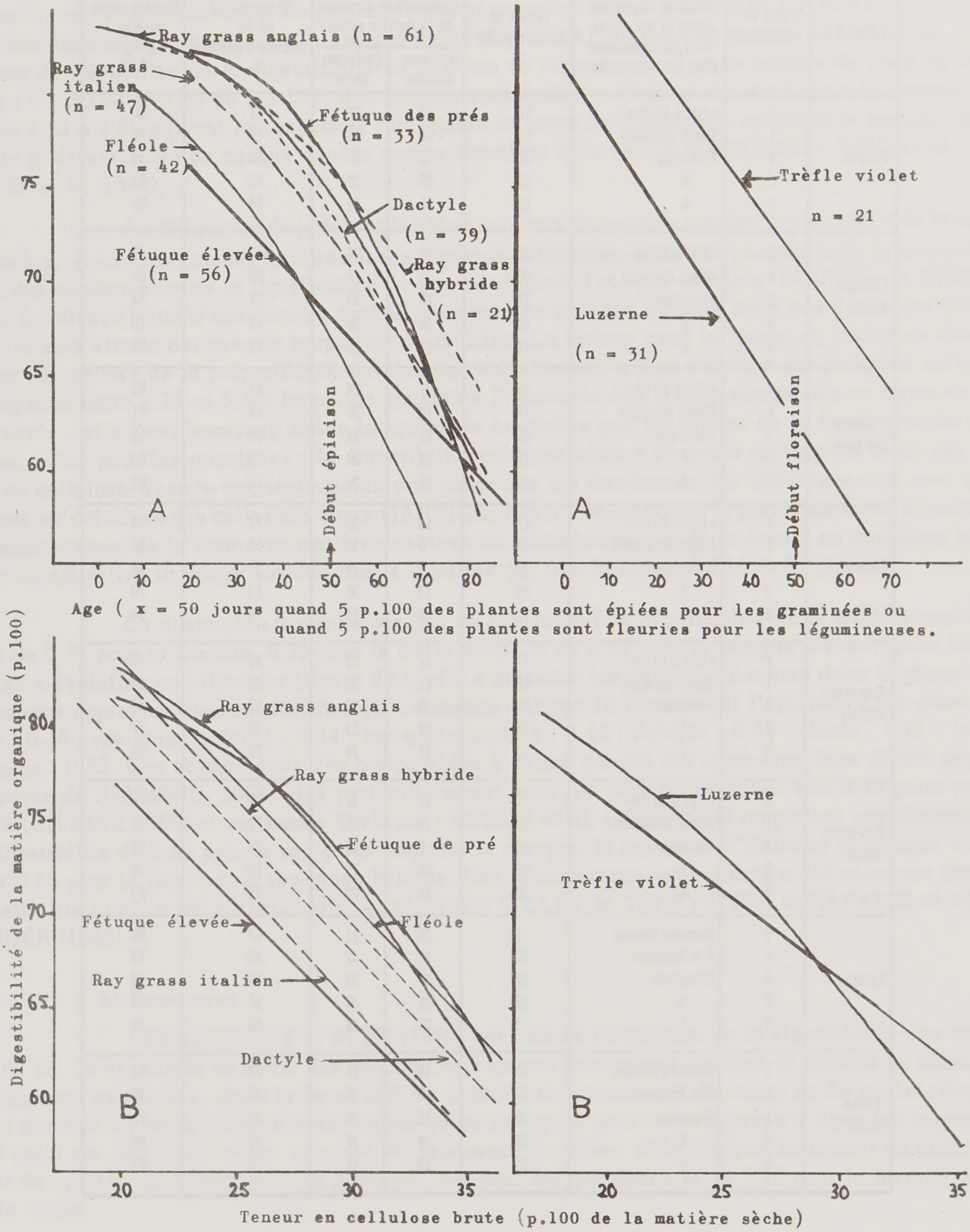


TABLEAU II

COMPOSITION CHIMIQUE, DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE ET QUANTITE DE MATIERE SECHE INGEREE PAR LE MOUTON DES PRINCIPALES ESPECES FOURRAGERES

ESPECES	Cycle de végétation	Stade de végétation (pour le 1er cycle) ou âges (semaines) pour les repousses	Teneur en matière sèche %	Composition chimique de la matière sèche		Digestibilité de la matière organique %	Matière sèche ingérée g/kg $P^{0,75}$
				Matières azotées	Cellulose brute		
Dacytle	1	« Epi à 10 cm »	16	22	22	77	89
	1	Début épiaison	17	15	26	74	74
	1	Floraison	25	9	33	58	53
	2	6	19	18	29	72	81
	3	6	19	19	26	74	80
Fétuque élevée	1	« Epi à 10 cm »	20	16	24	72	75
	1	Début épiaison	20	13	27	68	69
	1	Floraison	21	10	32	57	54
	2	5	20	16	26	72	76
	3	6	17	17	25	71	77
Fétuque des prés	1	« Epi à 10 cm »	16	21	24	81	81
	1	Début épiaison	19	13	28	76	71
	1	Floraison	20	11	34	65	55
	2	6	18	18	24	75	83
	3	6	21	18	26	73	82
Fléole	1	« Epi à 10 cm »	17	14	26	77	74
	1	Début épiaison	18	9	35	67	56
	1	Floraison	25	7	36	57	48
	2	7	16	13	30	73	70
	3	7	17	16	27	76	64
Ray-grass anglais	1	« Epi à 10 cm »	17	17	23	82	75
	1	Début épiaison	18	11	28	73	65
	1	Floraison	23	8	33	63	57
	2	6	19	18	23	78	77
	3	6	17	17	24	75	66
Ray-grass italien	1	« Epi à 10 cm »	16	17	18	79	78
	1	Début épiaison	19	10	25	72	71
	1	Floraison	26	7	30	64	59
	2	5	19	18	27	70	78
	3	6	20	15	22	75	81
Luzerne	1	Boutons floraux	18	20	31	67	80
	1	5 % floraison	20	19	32	63	75
	1	Floraison	22	18	33	60	72
	2	5	19	22	30	67	90
	3	5	21	24	28	68	78
Trèfle violet	1	Boutons floraux	16	18	23	74	84
	1	5 % floraison	17	17	26	70	76
	1	Floraison	20	16	28	68	78
	2	5	18	24	17	76	95
	3	6	15	23	17	77	85

(figure 2 A - tableau 2) diminue de façon sensiblement linéaire, de l'ordre de 0,35 à 0,4 point par jour, tout au long du premier cycle ; la digestibilité de la luzerne passe de 80 % au debut du premier cycle à 60 % à la floraison (tableau 1) et celle du trèfle violet de 85 à 68 %.

L'année ou le lieu de culture n'ont pas d'influence notable sur la digestibilité de l'espèce à un stade de végétation donné mais ils en ont une sur la digestibilité à une date donnée par l'intermédiaire du stade de végétation. Cette évolution de la digestibilité des différentes espèces au cours du premier cycle de croissance est particulièrement reproductible. DEMARQUILLY et WEISS ont pu calculer des équations du premier ou du second degré (figure 2 A) qui rendent compte de façon très satisfaisante de l'évolution de la digestibilité en fonction de l'âge exprimé par le nombre de jours de croissance ($\times = 50$ au jour où de 5 à 10 % des plantes sont épiées) ; l'erreur standard est relativement faible (de 1,32 à 2,68 suivant les espèces) ; le nombre de jours de croissance est ainsi le meilleur prédicteur de la digestibilité de chaque espèce comme l'avaient déjà montré HOMB (1953), REID et al. (1959), MINSON et al (1960)...

La diminution de la digestibilité de la plante au cours du premier cycle résulte de la diminution de la proportion des limbes foliaires et des contenus cellulaires, et de l'augmentation de la proportion des tiges, des membranes et de la lignification de ces membranes (cf. par exemple JARRIGE et MINSON, 1964). La digestibilité d'une espèce donnée présente des liaisons étroites avec ces différents paramètres ; la plus étroite est avec la proportion de feuilles. La liaison avec la teneur en cellulose Weende (figure 2 B), critère de la proportion de membranes, est élevée (l'erreur standard est comprise suivant les espèces entre 2,25 et 5,50) lorsqu'on considère l'ensemble des stades successifs au cours du premier cycle ; elle l'est beaucoup moins lorsqu'on ne considère que les stades de la fin du premier cycle tout au moins pour les graminées : la digestibilité continue alors à diminuer rapidement alors que la teneur en cellulose Weende augmente moins vite parce que les membranes des inflorescences sont plus pauvres en cellulose que celles des tiges (JARRIGE, 1963) ; on améliore la prévision de la digestibilité en tenant compte de la teneur en matières azotées en même temps que de la teneur en cellulose brute. C'est en définitive la proportion des tissus lignifiés qui fixe la digestibilité de la plante.

La diminution moyenne par jour du coefficient de digestibilité de la matière organique a été de 0,39 pour la luzerne, 0,35 pour le trèfle violet et de 0,27 pour la fétuque élevée ; pour les graminées à évolution curvilinéaire (figure 2 A), elle a présenté les valeurs suivantes dans la phase de décroissance approximativement linéaire qui commence environ 10 jours avant l'épiaison : ray-grass d'Italie : 0,36 ; ray-grass hybride : 0,34 ; ray-grass anglais : 0,44 ; dactyle : 0,44 ; fléole : 0,51 ; fétuque des prés : 0,53. Ces valeurs sont très comparables à celles qui ont été observées dans divers pays (cf. revue de RAYMOND, 1966) plus particulièrement dans les pays Scandinaves soit 0,49 point pour la fléole (KIVIMAE 1966) et en Grande Bretagne : MINSON et al. (1960 - 1964) rapportent une diminution de la digestibilité de 0,50 pour le ray-grass anglais, le dactyle, le ray-grass d'Italie et la fétuque élevée et de 0,40 pour la fléole et le ray-grass hybride. Une décroissance équivalente a été observée dans la digestibilité *in vitro* par PRITCHARD et al. (1963) TILLEY et TERRY (1964) et HARKESS et ALEXANDER (1969).

b) Repousses

DEMARQUILLY et WEISS (1970) ont mesuré l'évolution de la digestibilité des repousses de 2e, 3e et parfois 4e cycle des principales espèces fourragères pendant la période où elles sont normalement exploitées, entre la 5e et la 8 - 9e semaine de croissance. Au cours du 2e cycle la digestibilité diminue de façon presque aussi rapide qu'au 1er cycle pour les repousses à tiges (en moyenne de 0,35 point par jour) mais moins vite pour les repousses feuillues. Elle diminue lentement au cours des 3e et 4e cycles : de l'ordre de 0,15 point par jour pour les graminées et de 0,20 pour la luzerne et le trèfle violet.

Les repousses sont toujours moins digestibles que les plantes du 1er cycle d'âge, de composition morphologique ou de composition chimique comparables, qu'il s'agisse des légumineuses ou des graminées (tableau 2). Cette différence est due essentiellement au fait que leurs polysaccharides membranaires sont moins digestibles parce que les membranes sont plus lignifiées, comme l'ont montré JARRIGE et MINSON (1964) dans le cas du ray-grass anglais et du dactyle. De plus chez les graminées, les plantes du 1er cycle sont plus riches en glucides solubles, lesquels sont entièrement digestibles.

Les différences de digestibilité entre cycles de repousses d'âge comparable ne sont généralement pas très importantes sauf lorsqu'elles correspondent à des variations de la composition morphologique (tableau 2). C'est le cas pour le ray-grass d'Italie, la fléole, la luzerne, (tableau 1) qui sont moins digestibles au 2e cycle qu'au 3e ou au 4e parce qu'elles sont moins feuillues. MINSON et al. (1960 - 1964) n'ont pas trouvé de variations systématiques dans la digestibilité des repousses mensuelles de différentes graminées à partir du mois de juin ; les conditions climatiques, la proportion de parties mortes doivent être parmi les causes des fluctuations observées.

La digestibilité des repousses peut rarement être prévue correctement à partir de la teneur en cellulose brute et matières azotées. Elle ne présente de liaison significative qu'avec la teneur en cellulose brute pour les plantes du 2e cycle contenant des tiges et avec la teneur en matières azotées pour les repousses de certaines espèces. Ces liaisons sont d'ailleurs beaucoup moins étroites qu'avec l'âge du fourrage exprimé par le nombre de jours depuis la coupe précédente. Cependant, la prévision obtenue à partir de l'âge est beaucoup moins précise que pour les fourrages du 1er cycle ; les coefficients de corrélation sont par exemple compris entre 0,60 et 0,89 pour les repousses de 2e cycle.

c) Famille, espèce et variété

Le stade de développement est le facteur prépondérant de la valeur nutritive de toutes les plantes fourragères. Pour mettre en évidence des différences entre ces plantes, il faut les comparer aux mêmes stades ou au même âge et, dans la mesure du possible, pendant les différents cycles successifs.

Dans ces conditions on constate des différences systématiques dans la composition chimique et la digestibilité entre espèces de la même famille. MINSON et al. (1960 - 1964) au G.R.I. de Hurley ont montré que les ray-grass anglais et hybride, ainsi que la fétuque des prés, étaient plus digestibles que les dactyles et surtout que la fétuque élevée, aussi bien au 1er cycle de croissance que pour les repousses annuelles. DEMARQUILLY et WEISS (1970) confirment ces différences, notamment entre les ray-grass et la fétuque élevée (cf. figure 2 A), et donnent un tableau de la valeur alimentaire pour chaque espèce. De même, la luzerne est nettement moins digestible que le trèfle violet (cf. figure 2 A) et surtout que le trèfle blanc.

Ces différences de digestibilité s'expliquent en partie par des différences dans la composition morphologique à stade de développement équivalent : ainsi la luzerne est moins feuillue que le trèfle violet et évidemment que le trèfle blanc. Elles traduisent surtout des différences dans la digestibilité intrinsèque des divers organes. Celles-ci ont été mises en évidence grâce aux techniques de digestibilité *in vitro* ou par la méthode des sachets de nylon dans le rumen. La digestibilité *in vitro* des limbes foliaires, des graines et des tiges est systématiquement plus élevée pour le ray-grass anglais S 24 que pour le dactyle S 37 (TERRY et TILLEY, 1964). La digestibilité *in vivo* en sachets de nylon des limbes foliaires et des tiges de ray-grass italien est plus élevée que celle de la fétuque élevée (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969), celle des tiges de trèfle violet est beaucoup plus élevée que celle des tiges de luzerne (CHENOST et al., 1970).

Ces différences entre espèces dans la digestibilité des organes traduisent des différences dans la composition chimique et dans la proportion des différents tissus. Par exemple le ray-grass S 24 est plus digestible que le dactyle S 37 parce qu'il a des membranes moins lignifiées et qu'il contient plus de glucides solubles (JARRIGE et MINSON, 1964). La teneur en cellulose brute ne rend pas bien compte de ces différences ; à teneur en cellulose brute égale, la digestibilité présente des differences systématiques entre espèces (figure 2 B) ; elle est par exemple plus élevée pour le ray-grass anglais et la fétuque des prés et plus faible pour le ray-grass d'Italie, la fétuque élevée et la luzerne ; la différence entre ces deux groupes est de l'ordre de 6 points au 1er cycle.

Nous n'avons pas connaissance d'études systématiques effectuées pour mesurer les différences de digestibilité *in vivo* qui pourraient exister entre les variétés commerciales de la même espèce. Nous n'en avons pas observé entre les variétés que nous avons utilisées sauf pour le ray-grass d'Italie : la variété tétraploide Tétrone est significativement plus digestible que la variété diploide Tiara, notamment en ce qui concerne les repousses, parce qu'à stade de végétation ou à âge équivalent, la variété Tétrone est plus feuillue. La valeur nutritive des espèces les moins digestibles peut sans doute être vraisemblablement améliorée par la sélection. On a constaté par exemple une certaine variation entre clones de la digestibilité *in vitro* chez le dactyle (COOPER et al., 1962) et la fétuque élevée (GILLET, 1969).

II - PRAIRIES NATURELLES

Sur le domaine du Pin au Haras (Orne), où a été obtenue une partie des données sur les espèces de graminées pures exposées précédemment, nous avons aussi étudié les variations de la composition et de la digestibilité de l'herbe produite par trois prairies naturelles. Ces prairies peuvent être considérées comme représentatives de la zone normande ; les graminées y fournissent 85 à 90 % de la matière sèche, les légumineuses de 5 à 10 % et les autres plantes 5 %. Ces fourrages ont reçu la même fumure que les espèces pures (120 kg d'azote par hectare). On peut donc effectuer une certaine comparaison entre les deux types de fourrages, bien qu'il ne s'agisse pas d'une expérience planifiée dans cet objectif.

On a mesuré l'évolution de la digestibilité au cours de 8 premiers cycles, de la fin avril à la mi-juillet (figure 3). Elle n'a pas présenté de palier initial (ce qui ne veut pas dire qu'il n'y en ait pas eu auparavant) ; elle a diminué de façon sensiblement linéaire :

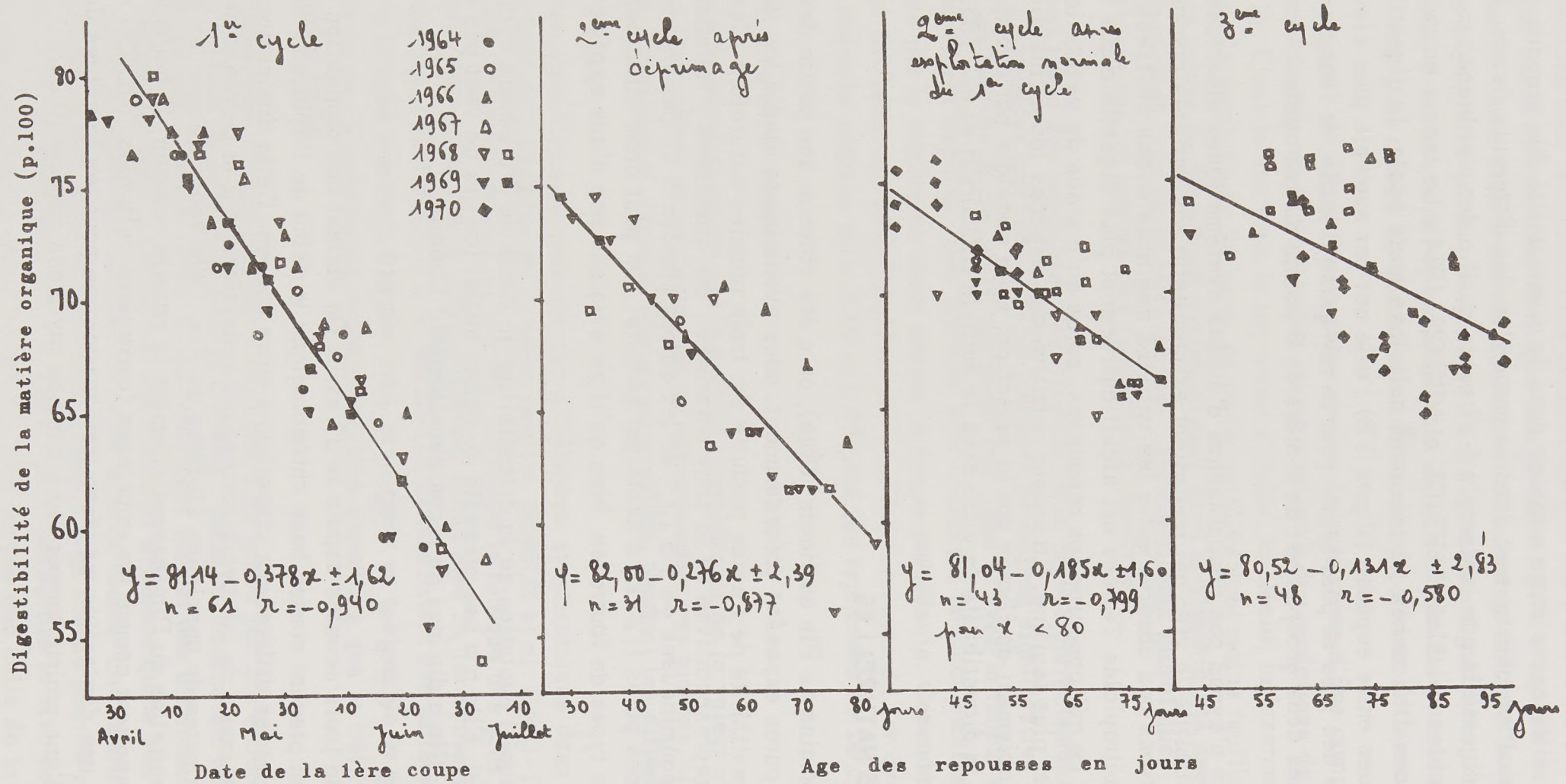
$$y = 81{,}14 - 0{,}378 \times_1 \pm 1{,}62 \quad ; \quad r = -0{,}940 \quad ; \quad n = 61$$

$\times_1$ étant le nombre de jours écoulés depuis le 30 avril. On obtient une diminution journalière tout à fait comparable (0,384) en prenant comme base chronologique le début de l'épiaison du ray-grass d'Italie ($\times = 50$), pour éliminer les différences climatiques entre années. Cette diminution de la digestibilité de 0,38 point par jour au cours du 1er cycle correspond sensiblement à la moyenne des valeurs individuelles pour les espèces pures de graminées étudiées au Pin. Cela veut dire que les graminées qui constituent les prairies naturelles du Pin (essentiellement la paturin commun, la houlque laineuse, le vulpin et l'Agrostis) se comportent comme les graminées fourragères cultivées. WILSON et Mc CARRICK (1966) observent également une diminution moyenne très comparable pour les fourrages de prairie naturelle (0,33) et pour ceux d'une prairie temporaire à base de ray-grass anglais (0,36).

La vitesse de diminution de la digestibilité au cours du 2e cycle dépend, comme pour les espèces pures, du stade auquel a été exploité le 1er cycle (figure 3). Elle est presque aussi rapide (en moyenne de 0,28 point par jour) qu'au premier cycle si celui-ci a été exploité précocement, en général par pâturage (« déprimage ») ; à une date donnée ces fourrages du 2e cycle sont cependant nettement plus digestibles (de 7 à 10 points environ) que ceux du 1er cycle. La digestibilité des fourrages du 2e

FIGURE III

EVOLUTION DE LA DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE DE L'HERBE DE PRAIRIE NATURELLE AU COURS DES DIFFERENTS CYCLES DE VEGETATION



cycle correspondant à l'exploitation courante du 1er cycle, diminue beaucoup plus lentement, mais de façon relativement irrégulière et variable d'une année à l'autre ; en moyenne de 0,18 point par jour entre la 5e et la 12e semaine de croissance. La digestibilité des fourrages du 3e cycle est plus élevée que pour ceux du 2e cycle et diminue encore plus lentement (0,13 point par jour). La figure 3 présente les droites de régression observées pour les 3 cycles ; les fourrages les plus digestibles sont ceux du début du 1er cycle, comme dans le cas des espèces pures.

La digestibilité est en corrélation relativement étroite avec la teneur en cellulose brute Weende et en matières azotées pour les fourrages du 1er cycle (erreur standard de 3,6 dans les deux cas). Pour les divers cycles de repousses elle présente une liaison significative avec la teneur en matières azotées (erreur standard de 2,3 à 3,7) mais pas avec la teneur en cellulose brute (sauf pour le 2e cycle après exploitation précoce du 1er cycle). Le nombre de jours de croissance reste un meilleur prédicteur de la digestibilité que ces deux critères chimiques.

De toute évidence, il ne faut pas généraliser les variations de la digestibilité des fourrages des prairies naturelles du Pin à toutes les prairies naturelles de France ; leur composition floristique et leurs conditions de milieu et d'exploitation sont trop variables pour cela. Notons cependant que dans une étude en cours sur les fourrages des prairies d'altitude (1.000 m), nous trouvons une diminution de 0,45 point par jour de la digestibilité au cours du 1er cycle. Par contre, nous pouvons avancer les conclusions provisoires suivantes en ce qui concerne la comparaison entre fourrages de prairies naturelles et fourrages cultivés dans le même lieu :

1) - la digestibilité de ces deux catégories de fourrages obéit aux mêmes lois ; elle dépend avant tout du cycle et du stade de développement ; elle diminue avec l'âge à des vitesses assez voisines et présente des amplitudes de variation assez comparables ;

2) - la digestibilité des fourrages de prairies naturelles est la résultante de celle des principales espèces qui les composent ; elle doit donc être généralement assez voisine de celle des graminées dominantes ; on connaît très mal la digestibilité des graminées non cultivées telles que le pâturin, le vulpin, la houlque, les agrostis... mais, d'après les analyses chimiques, on peut penser qu'elle se situe dans la zone de variation délimitée par le ray-grass anglais et la fétuque élevée (figure 2 A).

3) - la teneur en matières azotées digestibles des fourrages des prairies naturelles varie dans le même sens que celles des graminées pures mais l'amplitude des variations doit être en général plus faible, s'ils contiennent une proportion appréciable de légumineuses.

Pour vérifier ces conclusions il faudrait étudier les variations de la composition et de la digestibilité des fourrages des autres grands types de prairies naturelles, différant de celles du Pin par leur composition floristique et par les conditions climatiques. On les comparera chaque fois que possible aux variations de quelques fourrages de graminées utilisées comme référence. Les méthodes de digestibilité *in vitro* ou en sachets rendent une telle étude plus facile à réaliser.

Nous n'avons pas parlé des variations de la teneur et de la digestibilité apparente des matières azotées parce qu'elles sont parfaitement connues. La teneur en matières azotées digestibles de l'ensemble de nos fourrages verts peut être calculée simplement en soustrayant de la teneur en matières azotées totales (N × 6,25), la teneur en matières azotées non digestibles qui a été en moyenne de 4,5, ces différentes valeurs étant exprimées en % de la matière sèche. Cette teneur en matières azotées non digestibles a varié de 4,0 à 5,0 ; elle a été du même ordre pour les fourrages de prairies naturelles que pour la moyenne des graminées pures.

TABLEAU III

DIMINUTION DE LA DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE ET DE LA QUANTITE DE MATIERE SECHE INGEREE ENTRAINEE PAR LES DIFFERENTES METHODES DE CONSERVATION DES FOURRAGES

	GRAMINEES			LEGUMINEUSES		
	Nombre d'échantillons	Diminution de la digestibilité (points)	Diminution de la quantité de M.S. ingérée (%)	Nombre d'échantillons	Diminution de la digestibilité (points)	Diminution de la quantité de M.S. ingérée (%)
- Fourrages déshydratés (basse température)	18	- 1.0 (± 0.9)	+ 3.5	4	- 6.0 (± 2.3)	- 12
- Foins						
séchage au sol, beau temps	47	- 3.5 (± 1.5)	- 19	15	- 9.0 (± 3.5)	- 20
séchage au sol, pluie	31	- 8.0 (± 2.5)	- 27	15	- 5.0 (± 3.0)	- 13
séchage en grange		- 5.0 (± 1.5)	- 16			
- Ensilages						
direct sans conservateur	23	- 5.0 (± 1.5)	- 39			
direct avec conservateur	11	- 1.5 (± 1.5)	- 38	3	- 5.0 (± 3.5)	- 20
direct avec mélasse	7	- 2.0 (± 4.0)	- 38	4	- 5.0 (± 3.5)	- 33
préfané	11	- 3.5 (± 2.0)	- 29			

II - FOURRAGES CONSERVES

La composition et la valeur nutritive des fourrages conservés dépendent d'abord de celles des fourrages sur pied ; le stade de développement, ou l'âge, et le numéro du cycle au moment de la récolte en restent les facteurs principaux. Ainsi, pour un ensemble de 94 fourrages nord américains du 1er cycle (19 fourrages verts, 15 ensilages et 60 foins), REID et al. (1959) ont constaté que la teneur en matière sèche digestible (y) était étroitement liée au nombre de jours de croissance (x) à partir du 30 avril :

$$y = 85,0 - 0,48\ x.$$

Nous constatons de même, pour 42 ensilages, la relation suivante entre la digestibilité de la matière organique (y) et le nombre de jours (x = 50 au début de l'épiaison) :

$$y = 94,00 - 0,47\ x_1 \pm 3,19 \ ; \ r = - 0,844.$$

Cependant les modifications subies par le fourrage au cours des opérations de récolte et de conservation entraînent une diminution de la digestibilité qui peut être très variable (de 0 à 15 points) et une diminution de l'ingestibilité qui l'est encore plus. Au cours des dernières années nous avons procédé à une étude systématique de ces diminutions, en comparant la digestibilité des fourrages conservés par différentes méthodes à celle du fourrage vert initial. Le tableau 3 résume les valeurs moyennes calculées par DEMARQUILLY et WEISS (1970) pour la première série de résultats qui portait sur 206 fourrages conservés, préparés à partir de 124 fourrages sur pied de graminées ou de légumineuses pures. La diminution de la digestibilité par rapport au fourrage sur pied est faible ou nulle pour les fourrages déshydratés, sauf pour ceux qui furent préparés à partir de plantes trop riches en eau (ray-grass italien et trèfle violet). Elle est généralement plus importante pour les foins séchés au sol que pour les foins ventilés, sauf pour les graminées récoltées par beau temps. Elle est plus importante pour les fourrages ensilés directement sans conservateurs ou préfanés que pour ceux qui sont ensilés en présence d'un conservateur (acides forts). Ces résultats confirment ceux qui avaient été obtenus notamment aux Pays-Bas (DIJKSTRA, 1958), et en Angleterre (HARRIS et RAYMOND, 1963).

Ces diminutions de la digestibilité sont dues à deux catégories de causes : 1°) aux pertes de fractions de la plante ou de constituants les plus digestibles : pertes mécaniques de feuilles dans le cas des foins - utilisation d'une partie des constituants solubles, notamment des glucides, par la respiration et les fermentations - pertes de constituants solubles dans les jus des ensilages ; 2°) à la diminution de la digestibilité propre des constituants par suite de modifications physico-chimiques (insolubilisation des matières azotées par exemple). Les pertes se traduisent en définitive par une augmentation de la proportion des constituants de la membrane dans le fourrage et sont en général la cause principale de la diminution de la digestibilité de la matière organique.

Ces modifications de la valeur nutritive peuvent être différentes d'une espèce fourragère à l'autre ; il y a une interaction entre l'espèce et le mode de conservation. Les légumineuses subissent une diminution de digestibilité nettement plus importante que les graminées au cours de la fenaison (tableau 3) ; leurs feuilles sèchent beaucoup plus rapidement que leurs tiges et s'en détachent. On observe la même différence lors de la déshydratation, qu'elle soit effectuée à basse température (tableau 3) ou à haute température (HENK et LAUBE, 1968); à la perte de feuilles s'ajoute alors la diminution de la digestibilité des matières azotées. On sait que les légumineuses, la luzerne tout particulièrement, sont plus difficiles à conserver par ensilage, tout au moins si elles sont ensilés sans préfanage ou sans conservateurs ; il est probable que la diminution de la digestibilité et, plus encore celle de la valeur azotée, sont alors plus importantes que pour les graminées. Nous l'avons constaté dans le cas du trèfle violet (tableau 3) mais nous ne disposons pas d'études comparées sur la luzerne.

TABLEAU IV

COMPOSITION CHIMIQUE, DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE ET QUANTITE DE MATIERE SECHE D'ENSILAGE INGEREE, DIMINUTION DE LA DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE ET DE LA QUANTITE DE MATIERE SECHE INGEREE ENTRE LA PLANTE SUR PIED ET LA PLANTE ENSILEE

ESPECES	Nombre d'échantillons	Composition chimique				pH	Digestibilité de la matière organique %	Matière sèche ingérée g/kg $P^{0,75}$	Diminution entre la plante sur pied et la plante entière	
		Teneur en M.S.	cendres	Matières azotées	Cellulose brute				Digestibilité (points)	Ingestibilité (%)
Prairie naturelle	15	23.4	12.0	11.4	32.2	4.6	63.5 ± 3.7	48.4 ± 10.3	6.7 ± 2.6	31.2 ± 15.1
Ray-grass italien	12	21.5	11.5	11.8	30.8	3.9	68.2 ± 5.7	41.6 ± 4.9	3.2 ± 3.0	41.4 ± 8.9
Ray-grass anglais	14	20.2	10.0	11.2	32.7	4.3	70.2 ± 5.2	44.8 ± 11.6	2.2 ± 3.7	37.2 ± 19.0
Fétuque élevée	17	22.6	13.3	12.5	32.2	4.2	65.2 ± 4.5	45.9 ± 7.5	1.8 ± 2.7	29.7 ± 11.1
Dactyle	11	21.3	14.7	13.2	31.1	4.7	66.7 ± 6.2	43.7 ± 13.4	4,4 ± 3,7	35.8 ± 14.5
Fléole	8	22.5	10.6	8.9	37.7	4.6	59.6 ± 6.1	37.7 ± 8.6	6.0 ± 3.0	33.8 ± 13.8
Trèfle violet	7	18.7	10.5	17.2	26.4	3.8	66.6 ± 3.4	57.3 ± 10.1	5.0 ± 2.1	27.7 ± 10.5
Fléole + ray-grass	3	23.5	13.1	11.3	30.3	5.3	65.6 ± 1.2	51.3 ± 3.8	5.4 ± 1.2	11.3 ± 9.1

Le tableau 4 rassemble les diminutions moyennes de la digestibilité que nous avons observées pour différentes espèces et pour des fourrages de prairies naturelles, ensilés dans des silos de 4 m3 (bois ou butyl) par différentes méthodes. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une expérimentation planifiée permettant une comparaison rigoureuse, il apparaît que la diminution de la digestibilité est plus faible pour le ray-grass anglais et la fétuque élevée que pour le dactyle, la fléole et le trèfle violet. Ces observations sont à rapprocher de celles d'OEHRING (1968) qui a mesuré l'adaptation à l'ensilage d'un certain nombre d'espèces de graminées par le pH et les teneurs en acide lactique et acides gras volatils des ensilages obtenus ; par ordre de qualité croissante les plantes se classent dans l'ordre suivant : dactyle et fléole, fétuque des prés et ray-grass anglais, ray-grass d'Italie ; ces différences sont en liaison avec des différences dans les teneurs en glucides solubles.

La diminution paraît être plus importante pour les fourrages de prairie naturelle que pour les graminées pures (tableau 4) ; cette différence persiste lorsqu'on ne prend en considération que les fourrages ensilés dans le même type de silo et suivant la même technique. Elle n'est pas liée à des différences dans la composition chimique brute caractérisée par les teneurs en matière sèche, cellulose brute et matières azotées. Elle doit correspondre à des fermentations différentes par suite de la présence dans les fourrages de prairie naturelle de plantes plus difficiles à ensiler comme le sont par exemple les légumineuses. Nous procédons à une analyse plus approfondie de ces résultats en relation avec les caractéristiques de la fermentation pour chercher les causes de ces différences dans l'aptitude à l'ensilage.

Il existe des différences entre espèces de graminées dans la rapidité de dessication lors de la fenaison. Selon HUBNER et WAGNER (1968), le fromental et la fléole sèchent facilement, le ray-grass d'Italie, le ray-grass anglais et la fétuque rouge difficilement, le dactyle et la fétuque des prés occupant une position intermédiaire ; on sait aussi que les pissenlits, les ombellifères sèchent lentement. Mais dans les mêmes conditions (date, lieu...), le facteur essentiel de la vitesse de dessication reste la quantité d'eau à évaporer par unité de surface qui est le produit de la quantité d'herbe verbe par sa teneur en humidité. La fertilisation azotée augmente ces deux composantes, ce qui accroît l'importance de la diminution de la digestibilité par suite de la respiration et les risques de lessivage par la pluie ; ce risque est souvent accru parce que la fertilisation avance la date de la récolte des premières coupes vers des périodes plus pluvieuses. A l'opposé, les foins de prairies naturelles peu fertilisées qui sont séchés rapidement par beau temps, doivent en moyenne subir une diminution de la valeur nutritive et des pertes à l'hectare bien moindres.

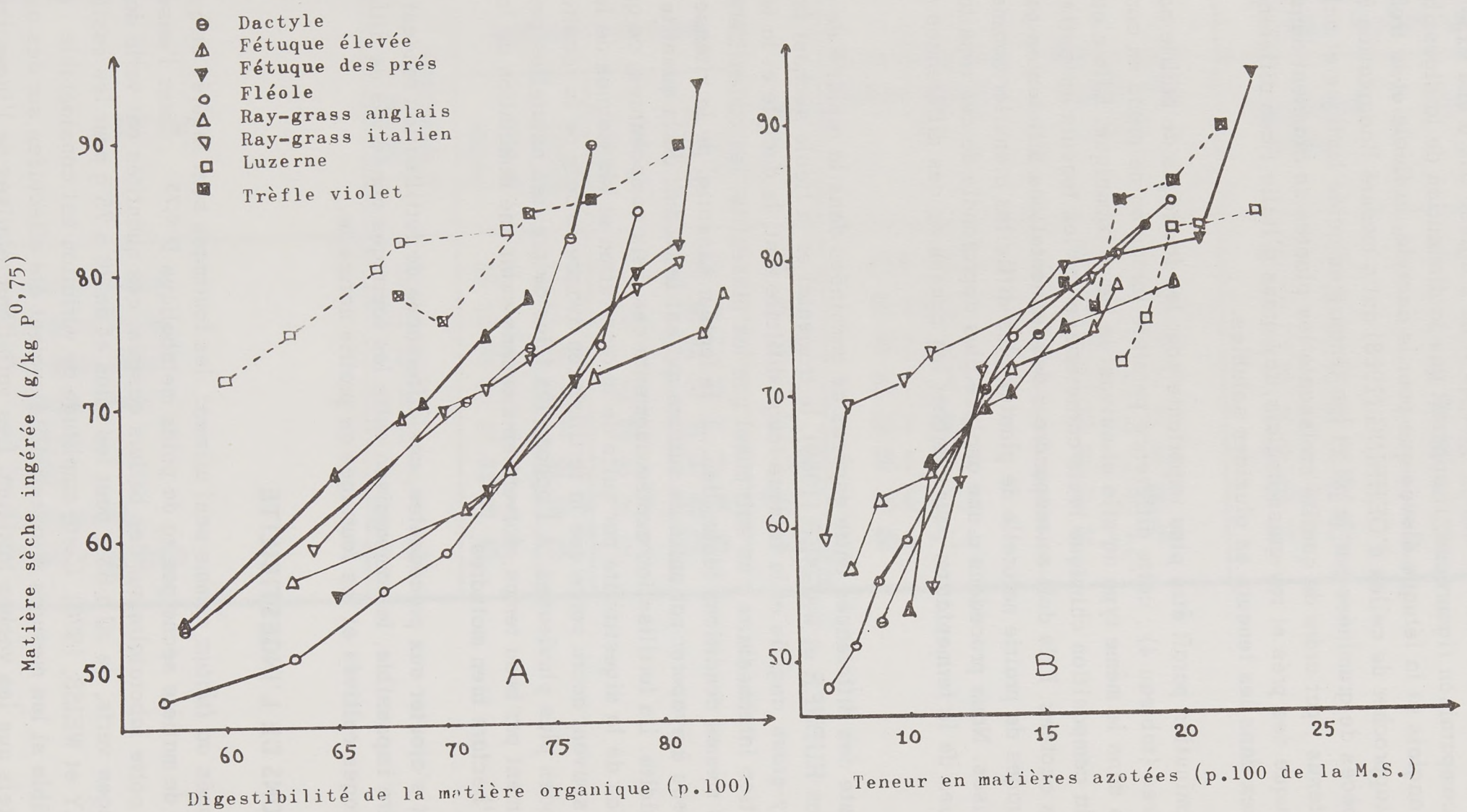
Venant s'ajouter aux précédentes, ces différences de fertilisation rendent encore plus difficile, pour ne pas dire impossible, la comparaison entre les fourrages conservés de différentes espèces ou entre les fourrages cultivés et les fourrages de prairie naturelle.

III - VARIATIONS DE L'INGESTIBILITE

Distribués *ad libitum* comme seul aliment, les fourrages sont ingérés en quantités très variables exprimées en g de matière sèche par kg de poids métabolique $P^{0,75}$. Dans l'ensemble des mesures effectuées dans notre laboratoire sur des béliers castrés, ces quantités ont varié de 40 à 120 g/kg $P^{0,75}$ pour les fourrages verts, de 30 à 85 g pour les foins et de 20 à 75 g pour les ensilages (cf. tableaux de DEMARQUILLY et WEISS, 1970). Cette amplitude de variation est considérable ; elle aurait été certainement plus faible si les mesures d'ingestibilité avaient été effectuées sur des animaux ayant des besoins élevés, tels que les vaches laitières. Les variations relatives de l'ingestibilité mesurées sur le mouton sont cependant transposables aux bovins (DEMARQUILLY et WEISS, 1971).

FIGURE IV

LIAISONS ENTRE LA QUANTITE DE MATIERE SECHE DE FOURRAGE INGEREE PAR LE MOUTON
ET (A) LA DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE (B) LA TENEUR EN MATIERES AZOTEES DU FOURRAGE



. **Fourrages verts**

L'ingestibilité d'une espèce fourragère donnée dépend avant tout, comme la digestibilité, du stade de développement et du numéro du cycle (tableau 2). Elle diminue constamment au cours du 1er cycle de croissance (DEMARQUILLY, 1965 ; DEMARQUILLY et WEISS, 1970) ; elle présente ainsi une liaison positive étroite avec la teneur en azote et en contenu cellulaire et la digestibilité, et une liaison négative étroite avec les teneurs en cellulose brute ou en constituants membranaires. Lorsque la digestibilité diminue d'un point, l'ingestibilité diminue de 1 à 1,8 g par kg $P^{0,75}$ suivant les espèces, ce qui est en très bon accord avec les données rassemblées par CORBETT (1969). Lorsque la liaison est curvilinéaire cette diminution est plus rapide pour les plantes de digestibilité élevée ; cette observation va à l'encontre de la conception généralement admise suivant laquelle la quantité ingérée augmente peu lorsque la digestibilité dépasse 70 %. L'ingestibilité des repousses d'une espèce donnée diminue avec l'âge ; elle est moins liée à la digestibilité que pour les plantes du 1er cycle, sauf pour les repousses à tiges ; elle dépend plus de la teneur en azote que de la teneur en cellulose brute. Les repousses d'été sont généralement ingérées en quantités plus élevées que les plantes du 1er cycle de digestibilité comparable (tableau 2) ; cela est dû sans doute au fait qu'elles sont plus riches en azote et aussi en matière sèche.

Il existe des différences d'ingestibilité entre espèces fourragères (figure 4 A). Comparées à digestibilité égale, au même cycle de développement, les légumineuses sont ingérées en quantité plus élevée que les graminées ; parmi celles-ci le ray-grass d'Italie, le dactyle et la fétuque élevée sont généralement ingérés en quantité plus élevée que le ray-grass anglais, la fétuque des prés et la fléole. Ces différences sont beaucoup moins nettes ou disparaissent si on compare les espèces à teneur en azote égale (figure 4 B). Comme nous l'avons rappelé dans l'introduction, l'ingestibilité de la plante dépend essentiellement de la vitesse de digestion dans le rumen (DONEFER et al., 1960 ; DEMARQUILLY et CHENOST, 1969 ; CHESNOST et al., 1970).

Nous avons calculé les relations entre l'ingestibilité des fourrages verts des prairies naturelles du Pin et leur digestibilité ou leur teneur en azote ou en cellulose brute (tableau 5). Ces relations sont tout à fait comparables à celles obtenues avec les espèces pures de graminées. Il n'apparaît pas de différence systématique entre ces fourrages de prairie naturelle et les espèces pures quand on fait la comparaison sur la base de la digestibilité, de la teneur en azote ou de la teneur en cellulose brute. La variété de la fleur n'a pas accru l'ingestibilité. De telles comparaisons doivent être répétées pour étayer des conclusions générales.

. **Fourrages conservés**

En même temps que les modifications de la digestibilité subies par le fourrage lors de la récolte et de la conservation, nous avons mesuré les variations correspondantes de l'ingestibilité (cf. DEMARQUILLY et WEISS, 1970) (tableau 3).

L'ingestibilité des foins dépend d'abord de celle des fourrages verts originels mais elle est généralement plus faible : en moyenne de 18,5 % (+ 11 à - 33) pour 108 foins étudiés par DEMARQUILLY et JARRIGE (1970). L'importance de cette diminution dépend essentiellement des conditions de séchage.

Il n'y a pas eu de différence systématique entre foins de prairie naturelle et foins de graminées pures dans les observations réalisées au Pin ; la quantité ingérée a été très voisine pour 25 foins de prairie naturelle (48,5 g pour une digestibilité de 60,8 %) et pour 21 foins de graminées pures (46,0 g pour une digestibilité de 58,6 %). Nous avons au contraire constaté des différences d'ingestibilité entre foins de prairie naturelle de digestibilité comparable mais produits dans des lieux différents :

TABLEAU V

LIAISONS ENTRE LA QUANTITE DE MATIERE SECHE D'HERBE DE PRAIRIE NATURELLE INGEREE PAR LE MOUTON (en g/kg $P^{0,75}$) ET (1) L'AGE (jours) (2) LA DIGESTIBILITE DE LA MATIERE ORGANIQUE (en %) (3) LA TENEUR EN CELLULOSE BRUTE ET (4) LA TENEUR EN MATIERES AZOTEES

Cycle	Facteurs	Nombre d'échantillons	Equation de régression ± écart type réduit	Coefficient de régression
Premier cycle	Jours après le 30 Avril	61	$y = 87.99 - 0.655 x \pm 6.67$	$r = 0.852$
	stade de végétation (1)	64	$y = 109.99 - 0.658 x \pm 6.56$	$r = 0.871$
	digestibilité de la M.O.	64	$y = 1.758 x - 54.12 \pm 6.15$	$r = + 0.888$
	teneur en cellulose brute	64	$y = 153.41 - 2.970 x \pm 7.35$	$r = - 0.836$
	teneur en matières azotées	64	$y = 27.30 + 3.274 x \pm 7.47$	$r = + 0.829$
Deuxième cycle après un déprimage du premier cycle	Age (jours)	33	$y = 87.27 - 0.360 x \pm 7.44$	$r = - 0.643$
	digestibilité de la M.O.	33	$y = 1.726 x - 48.63 \pm 5.03$	$r = + 0.855$
	teneur en cellulose brute	33	$y = 128.95 - 2.105 x \pm 7.64$	$r = - 0.618$
	teneur en matières azotées	33	$y = 42.52 + 2.082 x \pm 7.63$	$r = + 0.619$
Deuxième cycle après une exploitation normale du premier cycle	Age (jours)	61	$y = 91.72 - 0.316 x \pm 6.52$	$r = - 0.729$
	digestibilité de la M.O.	61	$y = 1.840 x - 56.90 \pm 7.03$	$r = + 0.675$ NS
	teneur en cellulose brute	61		$r = + 0.071$
	teneur en matières azotées	61	$y = 47.04 + 1.638 x \pm 8.08$	$r = + 0.530$
Troisième cycle	Age (jours)	48	$y = 82.48 - 0.247 x \pm 6.90$	$r = - 0.478$ NS
	digestibilité de la M.O.	48	$y =$	$r = 0.006$
	teneur en cellulose brute	48	$y = 26.37 + 1.553 x \pm 7.41$	$r = + 0.387$ 0.10
	teneur en matières azotées	48	$y = 48.15 + 0.977 x \pm 7.76$	$r = + 0.263$

(1) x = 50 jours au stade « début épiaison » du ray grass italien.

45 foins de prairies de montagne (Alpes, Jura, Massif Central) ont été ingérés en quantité de 20 % plus élevée (59,5 au lieu de 49,5 g) que 31 foins de prairies de plaine ; la digestibilité moyenne de ces deux groupes était respectivement de 59,6 et de 58,6 %. Cela peut traduire des différences dans la composition botanique et chimique du fourrage sur pied agissant sur la digestion dans le rumen, les conditions de la récolte et de la conservation, peut-être aussi dans les qualités organoleptiques.

L'ingestibilité des ensilages est beaucoup plus faible que celles des fourrages verts originels, en moyenne de 33 % (0 à - 62 %) pour 87 ensilages de graminées, trèfle violet et fourrage de prairies naturelles étudiés par DEMARQUILLY (en préparation). Cette diminution de l'ingestibilité touche pratiquement tous les ensilages de fourrages verts, même ceux qui sont très bien conservés et dont la digestibilité est identique à celle du fourrage vert originel, ce qui est en accord avec les résultats obtenus aux U.S.A. et en Grande Bretagne (HARRIS et RAYMOND, 1963). Cette diminution de l'ingestibilité est variable avec la technique de conservation, le type de silo et la machine de récolte utilisée (hachage). L'ingestibilité de l'ensilage dépend donc beaucoup moins du stade de récolte que celle du foin, et dépend beaucoup des conditions de récolte et de conservation. Elle est moins liée à la digestibilité ($r < 0,5$) que celle des foins ($r > 0,6$). Dans ces conditions il est difficile de mettre en évidence des différences éventuelles entre espèces fourragères ou entre fourrages cultivés et fourrages de prairie naturelle.

L'interprétation de ces variations de l'ingestibilité des fourrages nécessiterait une longue analyse qui n'a pas sa place ici. Il faudrait faire intervenir toutes les caractéristiques chimiques et physiques du fourrage qui peuvent agir sur la régulation de l'ingestion au niveau buccal, digestif et métabolique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BALCH C.C., CAMPLING R.C. 1962. Regulation of voluntary food intake in ruminants. Nut. Abstr. Rev. 32, 669-686

BALCH C.C., CAMPLING R.C. 1969. Voluntary intake of food

in **LENKEIT W., BREIREM K., CRASEMANN E.** Handbuch der Tierernährung, vol. 1, 554-579 (Paul Parey)

BLAXTER K.L., WAINMAN F.W., WILSON R.S. 1961. The regulation of food intake by sheep. Anim. Prod., 3, 51-61

CHENOST M., GRENET Elisabeth, DEMARQUILLY C., JARRIGE R. 1970. The use of the nylon bag technique for the study of forage digestion in the rumen and for predicting feed value. Proc. XIth Intern. Grassl. Congr. 697-701

COOPER J.P., TILLEY J.M.A., RAYMOND W.F., TERRY R.A. 1962. Selection for digestibility in herbage grasses. Nature, Lond., 195, 1276

CORBETT J.L. 1969. The nutritional value of herbage in Cuthbertron : Nutrition of animals of agricultural importance, vol. 2, 593-644 - Pergamon Press

DEMARQUILLY C. 1965. Factors affecting the voluntary intake of green forage by sheep. Proc. 9th Internat. Grassl. Congr. 877-885

DEMARQUILLY C., CHENOST M., 1969. Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon. Liaisons avec la valeur alimentaire. Ann. Zootech., 18, 419-436

DEMARQUILLY C., JARRIGE R. 1970. The effect of method of forage conservation on digestibility and voluntary intake. Proc. 11th Intern. Grassl. Congr. 733-737

DEMARQUILLY C., WEISS Ph. 1970. Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages. I.N.R.A. - Etude S.E.I. n°42

DEMARQUILLY C., WEISS Ph. 1971. Liaisons entre les quantités de matière sèche de fourrages verts ingérées par les moutons et celles ingérées par les bovins. Ann. Zootech. 20,119-134

DIJKSTRA N.D. 1957. The conservation of grass for feeding purposes in agriculture. Netherl. J. Agric. Sci. 5, 271-283

DONEFER E., CRAMPTON E.W., LLOYD L.E. 1960. Prediction of the nutritive value index of a forage from in vitro rumen fermentation data. J. Animal Sci., 19, 545-551

FAUCONNEAU G., JARRIGE R. 1957. Composition chimique et valeur nutritive de l'herbe. Bull. Tech. Inform. n°118, 173-214

GILLET M. 1969. (Personnal communication)

GRENET Elisabeth. 1966. Les particules végétales des feces de mouton. Ann. Zootech., 15, 303-312.

HARKESS R.D., ALEXANDER R.H. 1969. The digestibility and productivity of selected herbage varieties. J. Brit. Grassl. Soc., 1969, 282-289

HARRIS C.E., RAYMOND W.F. 1963. The effect of ensiling on crop digestibility. J. Brit. Grassl. Soc., 18, 204-212

HENK B., LAUBE W. 1968. Untersuchungen zur Heisslufttrocknung von Grünfutter. 2. Mitteilung . Verluste an verdaulichen Nährstoffen. Archiv. für Tierernährung, 18, 437-446

HOMB T. 1953. Chemical composition and digestibility of grassland crops. Acta Agric. Scand., 3, 1-32

HUBNER R., WAGNER F. 1968. Beitrag zum Anwelke- bzw. Abtrocknungsverlauf einiger Futterpflanzen. Das Wittschaftseigene Futter 14, 218-230

JARRIGE R., MINSON D.J. 1964. Digestibilité des constituants du ray-grass anglais S 24 et du dactyle S 37, plus spécialement des constituants glucidiques. Ann. Zootech., 13, 117-150

JARRIGE R. 1963. Les constituants membranaires des plantes fourragères. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 3, 143-190

KIVIMAE A. 1966. Estimation of digestibility and feeding value of timothy. Proc. 10th Internat. Grassl. Congr., 389-393

MINSON D.J., RAYMOND W.F., HARRIS C.E. 1960. Studies on the digestibility of herbage. VIII The digestibility of S 37 cocksfoot, S 23 rye-grass and S 24 rye-grass. J. Brit. Grassl. Soc. 15, 174-180

MINSON D.J., HARRIS C.E., RAYMOND W.F., MILFORD R. 1964. The digestibility and voluntary intake of S 22 and Hl rye-grass, S 170 tall fescue, S 48 timothy, S 215 Meadow fescue and Geminal cocksfoot. J. Brit. Grassl. Soc., 19, 298-305

MOWAT D.N., CHRISTIE B.R., WICH J.E. 1965. The in vitro digestibility of plant parts of orchard grass clones with advancing stages of maturity. Can. J. Plant Sci., 45, 503-507

OEHRING M. 1968. Die Siliereignung von Gräsern des Feldfutterbaues. Das Wirtschaftseigene Futter 14, 206-217

PRITCHARD G.I., FOLKINS L.P., PIGDEN W.J. 1963. The in vitro digestibility of whole grasses and their parts at progressive stage of maturity. Can. J. Plant Sci., 43, 79-87

RAYMOND W.F. 1966. The nutritive value of herbage in recent advances in Animal Nutrition. J. and A. Churchill, London

REID J.T., KENNEDY W.K., TURK K.L., SLACK J.T., TRIMBERGER G.W., MURPHY R.P. 1959. Symposium on forage evaluation. I. What is forage quality from the animal stand point ? Agronomy J. 51, 213

STAHLIN A. 1969. Grünfutter und Heu in M. Becker, K. Nehring : Handbuch der Futtermittel, Vol. 1, 1-185 (Paul Parey)

TERRY R.A., TILLEY J.M.A. 1964. The digestibility of the leaves and stems of perennial rye-grass, cocksfoot, timothy, tall fescue, lucerne and sainfoin, as measured by an in vitro procedure. J. Brit. Grassl. Soc., 19, 363-372

WALDO D.R. 1969. Factors influencing the voluntary intake of forages. Nat. Confer. on Forage Quality Evaluation adn Utilization, Nebraska

WALTERS R.J.K., GRIFFITH G.A.P., HUGUES Roy, JONES D.I.H. 1967. Some factors causing differences in digestibility of grasses measured by an in vitro method. J. Brit. Grassl. Soc. 22, 112-116

WILSON R.K., MC CARRICK R.B. 1966. Apparent dry matter digestibility, voluntary food intake and yields of dry matter of mixed swards, conserved as artifically dried grass and tetrapod hay, at progressive stages of maturity. Proc. 10 th Internat. Grassl. Congr. 371-379.

UTILISATION PAR LES VACHES LAITIERES DE LUZERNES DESHYDRATEES AGGLOMEREES ASSOCIEES OU NON A DES ENSILAGES DE MAIS OU D'HERBE

A. HODEN et M. JOURNET

Station de Recherches sur l'Elevage des Ruminants

Ω Ω Ω

Les résultats précédents ont montré (JOURNET et JARRIGE, 1967) que des vaches laitières alimentées avec un foin de luzerne condensé associé à de l'ensilage d'herbe et éventuellement des betteraves avaient un niveau d'ingestion élevé et produisaient un lait de composition normale. Au cours de cet essai, nous avons étudié la valeur pour la production laitière des rations de luzerne déshydratées agglomérées (broyées ou non avant leur conditionnement) associées ou non à des ensilages (maïs ou herbe) offerts à volonté.

MATERIEL ET METHODES

Quatre lots de 5 vaches laitières appariées 4 à 4, de race F.F.P.N., en 1ère lactation pour la majorité (2 vaches en 2ème lactation), ont été utilisées du 3ème au 8ème mois après le vêlage. Au cours d'une 1ère période expérimentale de 11 semaines, toutes les vaches ont reçu de la luzerne déshydratée et de l'ensilage qui a été supprimé au cours d'une 2ème période expérimentale de 4 semaines. Durant toute l'expérience, les lots I et II ont reçu de la luzerne déshydratée «compactée» (agglomération dans une presse à filières sans broyage préalable), et les lots III et IV de la luzerne déshydratée «condensée» (broyage à la grille de 3 mm suivi de l'agglomération dans une presse à filières). Au cours de la 1ère période, les lots I et III ont reçu de l'ensilage de maïs et les lots II et IV de l'ensilage d'herbe offerts à volonté. Durant toute l'expérience les animaux étaient sur une litière de paille.

En fait les 2 luzernes étaient plus différentes par leur qualité (cf. tableau I) que par leur mode de conditionnement, puisque la taille moyenne des particules était respectivement pour les formes condensée et compactée de 0,37 et 0,52 mm. Nous les distinguerons donc par la suite par leur teneur en matières azotées totales (M.A.T.) : 16 % M.A.T. (condensée) = Luz 16, et 20 % de M.A.T. (compactée) = Luz 20.

Avant d'être mis sur les régimes expérimentaux, les animaux ont reçu pendant 3 semaines comme fourrage du foin et de l'ensilage d'herbe distribués *ad libitum* ; l'appariement était effectué à la fin de cette période en tenant compte de 4 critères principaux (stade de lactation, quantité de lait, taux butyreux, appétit). En fin d'expérience, toutes les vaches ont été mises durant 3 semaines (période post-expérimentale) sur le même régime que celui de la période préexpérimentale avant d'aller au pâturage.

TABLEAU I

CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS ALIMENTS UTILISES

	Matière organique		Cellulose brute	Matières azotées totales	U.F. par kg/M.S.	M.A.D. g/kg M.S.
	% M.S.	coefficient de digestibilité	% M.S.	% M.S.		
Ensilage maïs	95,3	72,3 (1)	22,3	9,8	0,79 (1)	55 (1)
Ensilage herbe	91,5	67,0 (1)	25,8	14,9	0,66 (1)	85 (1)
Luzerne compactée	87,9		25,5	20,8		
Luzerne condensée	90	48,7 (2)	32,0	16,1	0,31 (2)	

(1) Valeurs obtenues sur moutons et (2) sur vaches.

La valeur énergétique nette (U.F.) a été estimée à partir de la formule de BREIREM (1954) :

$$\text{U.F./kg M.S.} = \frac{2{,}36\ \text{M.O.D.} - 1{,}20\ \text{M.O.N.D.}}{1650}$$

M.O.D. = Matière organique digestible

M.O.N.D. = Matière organique non digestible.

Pendant toute l'expérience (1ère et 2ème périodes), les besoins des animaux ont été couverts par un apport d'aliment concentré, si nécessaire. Au début (2 premières semaines) de la 1ère période le fourrage deshydraté et l'ensilage ont été offerts tous deux à volonté (10 % de refus), ensuite la quantité de luzerne déshydratée a été limitée pour les animaux dont les apports énergétiques dépassaient les besoins de façon à ne pas avoir de suralimentation. Les aliments de la ration de base (luzerne déshydratée + ensilage durant la 1ère période ; luzerne déshydratée seule durant la 2ème période) ont été distribués simultanément 2 fois par jour le matin à 8 h et le soir à 18 h. Les valeurs énergétiques et azotées des aliments utilisées pour le calcul des apports par la ration ont été celles données par les mesures de digestibilité obtenues sur moutons maintenus en cage à digestibilité pour les ensilages (tableau 1). On a supposé que la valeur des 2 luzernes déshydratées était identique et égale à 0,60 U.F. et 150 g de M.A.D./kg M.S.

Les quantités ingérées, la production de lait et le taux butyreux (méthode de Gerber) ont été mesurés individuellement chaque jour et le taux de protéines du lait (noir amido) une fois par semaine. De plus, les mesures particulières suivantes ont été effectuées : 1/ Comportement alimentaire de tous les animaux au début de la 1ère période et durant la 2ème période, 2/ quantités des différents aliments consommées en 2 heures après le début de la distribution du repas du matin.

I - RESULTATS DE LA 1ère PERIODE : FOURRAGE DESHYDRATE + ENSILAGE

1) Comparaison des 2 ensilages

Sur l'ensemble de la 1ère période expérimentale (voir tableau II et graphique I), le niveau d'ingestion moyen de la ration totale pour les 4 lots a été de 3,05 kg de matière sèche par 100 kg de poids vif (kg M.S / 100 P.V.);l'ensilage de maïs représentant 43,2 % de la matière sèche de la ration et celui d'herbe 34,6 %.

La quantité de lait produite a été en moyenne plus élevée, mais non significativement compte-tenu des différences existant lors de la préexpérience (analyse de covariance), avec les régimes contenant de l'ensilage d'herbe (16,2 kg contre 15,8 kg pour l'ensilage de maïs). La persistance mensuelle de la production laitière a été excellente mais plus élevée pour l'ensilage d'herbe (93,4 %) que pour l'ensilage de maïs (91,1 %)

Par rapport aux régimes classiques pré et post-expérimentaux, le taux butyreux a diminué significativement dans tous les cas, plus avec l'ensilage d'herbe qu'avec l'ensilage de maïs (-1,9 * * g ‰ contre - 1,0 *) mais non significativement. Le taux de protéines a évolué dans le même sens que le taux butyreux mais la diminution n'a été significative que pour les animaux recevant l'herbe (- 0,8 ** g ‰ contre - 0,2 g ‰ pour le maïs).

Quel que soit le type d'ensilage, les animaux ont perdu du poids au cours des 11 semaines de la 1ère période expérimentale. Ces pertes de poids (- 113 g/j pour le maïs contre - 48 g/j pour l'herbe) calculées à partir des pentes de la droite de régression ne sont pas significativement différentes.

L'emploi du temps des animaux recevant de l' ensilage de maïs par rapport à ceux recevant de l'herbe a été très peu différent malgré une proportion plus importante d'ensilage de maïs que d'ensilage d'herbe dans la ration (34,4 % contre 21,3 % de la matière sèche totale). Les quantités d'aliments ingérées en 2 heures après la distribution par rapport à celles ingérées en 24 heures sont plus importantes avec l'ensilage de maïs qu'avec celui d'herbe (39,0 % contre 31,9). Pour les 2 ensilages, il existe une relation hautement significative ($P < 1$ %) entre la quantité ingérée en 2 heures et celle ingérée en 24 heures.

Mais l'emploi du temps des animaux recevant ces rations de fourrage déshydraté aggloméré et d'ensilage a été modifié par rapport à des rations classiques. En effet, s'ils ont passé durant 24 h le même temps à ingérer (31,5 %) que s'ils avaient reçu un régime normal (29,3 % pour 7 régimes de foin + ensilage avec ou sans betteraves étudiés par JOURNET), ils ont passé beaucoup moins de temps à ruminer (24,8 % contre 36,6 %). La durée de mastication (consommation + rumination) unitaire (D.M.U.) a de ce fait été nettement plus faible que dans le cas des régimes classiques (46,9 minutes contre 67,6 par kg de M.S.T.).

2) Comparaison des 2 fourrages déshydratés

Au cours des 2 premières semaines d'expérience où tous les aliments étaient offerts à volonté les quantités ingérées de la Luz 20 ont été significativement plus élevées ($P < 5$ %) que celles de la Luz 16 (13,72 kg M.S. contre 10,68). Les quantités d'ensilage ingérées ont varié dans le sens inverse (3,97 kg M.S. contre 5,93) de sorte que les quantités de matière sèche totale n'ont pas été significativement différentes (3,32 contre 3,13 kg M.S./100 P.V.).

Par rapport à la période préexpérimentale (analyse de covariance) la quantité de lait produite par les vaches recevant la Luz 20 a été significativement supérieure (P< 1 %) à celle produite par les vaches recevant la Luz 16 (16,8 kg contre 15,1). La persistance de la production laitière a ainsi été respectivement de 93,6 %et 90,9 % par mois.

Par rapport aux régimes pré et postexpérimentaux la diminution du taux butyreux a été significative (P< 1 %) aussi bien avec la Luz 20 (- 1,4 ** g ‰) qu'avec la Luz 16 (- 1,5 ** g ‰). Par contre le taux de protéines du lait a augmenté avec la Luz 20 (+ 0,3 g ‰) tandis qu'il a diminué significativement (P<1 %) avec la Luz 16 (-1,4 ** g ‰).

L'évolution du poids vif a été différente (P<0,01) suivant le type de luzerne. Les variations de poids vifs calculées par régression au cours des 11 semaines expérimentales ont été respectivement de + 104 g/j pour la Luz 20 et de - 265 g/j pour la Luz 16.

L'emploi du temps a également été différent suivant les luzernes. La D.M.U. a été significativement plus faible (P< 0,01) pour les vaches recevant la Luz 20 par rapport à celles recevant la Luz 16 (43,5 contre 52,7 minutes par kg de M.S. totale). Les quantités de luzerne ingérées en 2 heures après le repas par rapport à celles ingérées en 24 heures ont été identiques (26,5 %) pour les 2 luzernes. Elles ont été plus faibles que celles d'ensilage, ce qui montre que l' ingestion de la luzerne agglomérée est mieux répartie dans le temps que celle des ensilages.

II - RESULTATS DE LA 2ème PERIODE : LUZERNE DESHYDRATEE SEULE

Au cours des 4 semaines expérimentales (tableau II - Graphique I) le niveau moyen d'ingestion des luzernes déshydratées distribuées pratiquement à volonté compte-tenu des besoins élevés des animaux (11,0 à 18,6 kg de lait produits par jour) a été de 3,18 kg M.S./100 P.V. avec des extrêmes de 2,90 à 3,38 ; la quantité d'aliment concentré distribuée n'étant en moyenne que de 0,12 kg de M.S.., ce niveau d'ingestion est tout à fait comparable à celui observé lors de la période précédente (luzerne déshydratée + ensilage) ; ce qui montre que l' on a eu une substitution totale entre l'ensilage et la luzerne déshydratée, et ce qui confirme les résultats précédents obtenus avec des régimes à base de foins condensés (JOURNET et HODEN. 1968 - JOURNET, 1971).

Les apports de matières azotées digestibles (M.A.D.)ont été excédentaires pour les 2 luzernes. Par rapport aux besoins des animaux, cette suralimentation a été en moyenne pour la luz. 20 et la luz. 16 de 133 et 75 % respectivement. Elle était déjà au cours de la période précédente pour la luz 20, de 48 et 83 % respectivement avec les ensilages de maïs et d'herbe et pour la luz 16 de 7 et 39 % avec les mêmes ensilages.

La quantité de lait produite a été plus élevée (P<0,01) pour la luz 20 (+ 2,1 kg par jour) , la différence s'étant encore accentuée par rapport à la première période (+ 1,7 kg par jour). Les taux butyreux ont été plus faibles mais non significativement que durant la première période (respectivement - 0,8 et - 0,7 point pour les luzernes 20 et 16). Par rapport aux périodes pré et postexpérimentales sur régimes classiques (foin + ensilage d'herbe), le taux butyreux a diminué significativement (P<0,01) aussi bien avec la luz 20 (- 3,5 ** g ‰) qu'avec la luz 16 (-2,9 ** g ‰). Le taux de protéines a par contre été significativement plus élevé avec la luz 20 (+1,6 ** g ‰) et significativement plus faible avec la luz 16 (- 0,8 * g ‰).

La période expérimentale de 4 semaines sur ce régime unique a été d'une durée insuffisante pour estimer correctement les évolutions du poids vif. Nous avons donc comparé les 2 luzernes sur l'ensemble des périodes I et II en calculant les variations de poids entre les périodes pré et postex-

périmentales (22 semaines). C'est ainsi que les vaches ayant reçu la luz 16 ont perdu 21 kg de poids vif de plus ($P<0,05$) que celles soumises à la luz 20 ; ce résultat confirme ceux déjà obtenus précédemment par régression sur les 11 semaines de la 1ère période expérimentale.

L'emploi du temps des vaches a été modifié par rapport à la période précédente aussi bien pour la luz 20 que la luz 16. C'est surtout la durée de rumination (% du temps total) qui a été fortement diminuée (respectivement de 12,4 et 13,7 points pour les luz 20 et 16) et de ce fait la D.M.U. a été plus faible d'environ 10 minutes.

CONCLUSION - DISCUSSION

Sur l'ensemble des 2 périodes les différences hautement significatives de quantités de lait produites (+ 1,9 kg par jour), de taux de protéines du lait (+ 2 g ‰) et de gain de poids vif des animaux (+ 136 g/j) en faveur des vaches recevant la luz 20, par rapport à celles recevant la luz 16, correspondent à des différences d'apport énergétique. En tenant compte de ces différences dans les performances réalisées, nous avons pu estimer que la Luz 20 avait une valeur énergétique supérieure de 0,08 U.F. par kg de M.S. à la luz 16. La digestibilité (matière organique) de cette dernière a été mesurée sur des vaches laitières à partir de 4 rations constituées de 25, 50, 75 et 100 % de la matière sèche par de la luzerne et le reste par de l'ensilage de maïs. Cette digestibilité a été en moyenne de 48,7 % ce qui correspondrait, en utilisant la formule de BREIREM, à une valeur énergétique nette très faible de 0,31 U.F. par kg de M.S. La valeur estimée à partir des quantités de lait produites et du gain de poids vif des vaches a été beaucoup plus élevée (0,53 UF/kg M.S.) ce qui confirme l'impossibilité d'utiliser les mesures de digestibilité sur moutons des fourrages conditionnés pour estimer leur valeur énergétique nette pour la production laitière.

La distribution à volonté aux vaches laitières de luzerne déshydratée et d'ensilage d'herbe ou de maïs permet des niveaux d'ingestion élevés (>3,0/100 P.V.). La production de lait permise par les apports énergétiques d'une telle ration avec de l'ensilage d'herbe peut être estimée à environ 16 kg de lait à 4 % de matières grasses avec la luzerne déshydratée de meilleure qualité (21 % de M.A.T.) et à 13 kg de lait (à 4 % de matières grasses) avec celle de moins bonne qualité (16 % de M.A.T.). De telles rations posent cependant des problèmes surtout si la luzerne déshydratée est distribuée à volonté comme unique fourrage. L'excès important de matières azotées (> 300 g/jour) peut en effet avoir des effets défavorables sur la reproduction (GIROU et BROCHART, 1970) et sur la santé des animaux, ainsi d'ailleurs que le conditionnement des fourrages sous forme agglomérée. La présence d'ensilage dans ce type de rations présente l'avantage de diminuer ces risques.

L'ensilage de maïs présente plus d'intérêt que l'ensilage d'herbe puisque, dans le cas d'une distribution *ad libitum*, il peut constituer près de 40 % de la ration ensilage + fourrage déshydraté et permettre une production laitière par la ration de base de 2 à 3 kg supérieure. De plus, cette ration est équilibrée (énergie - M.A.D.) si la luzerne déshydratée a une teneur en M.A.T. de 16 %.

La présence d'ensilage dans la ration, dans une proportion de 35 à 40 % de la matière sèche totale, est cependant insuffisante pour empêcher la diminution du taux butyreux (d'environ 1,5 g ‰) avec une luzerne déshydratée dont la taille moyenne des particules est relativement faible (0,3 à 0,5 mm). La présence d'ensilage a cependant permis de réduire la baisse du taux butyreux de 1,5 à 2 g ‰. La persistance de la production laitière des vaches recevant de telles rations est bonne surtout en présence d'ensilage d'herbe. Le gain de poids vif est par contre plus élevé avec l'ensilage de maïs.

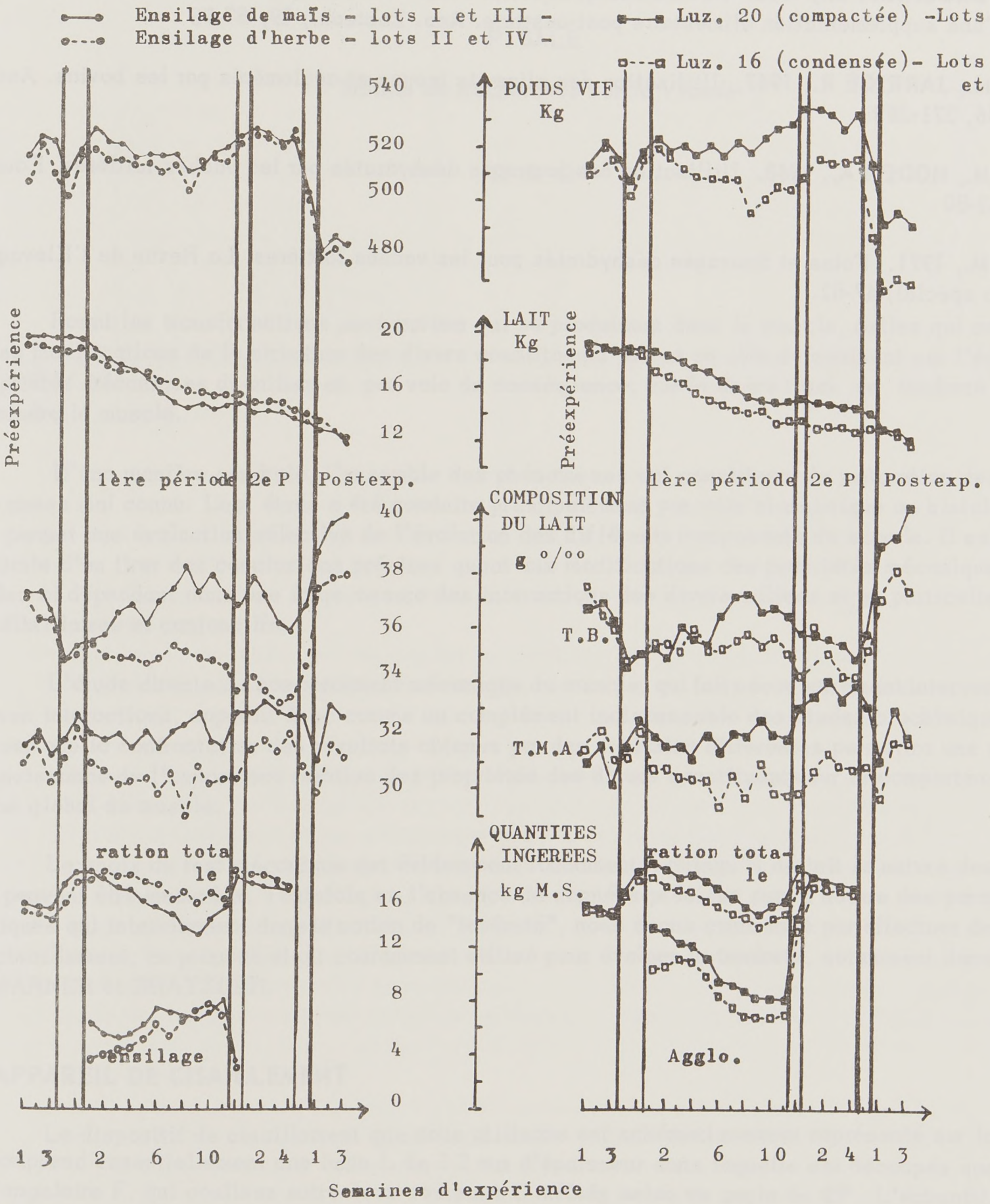
TABLEAU II

UTILISATION PAR LES VACHES LAITIERES DE LUZERNES DESHYDRATEES ASSOCIEES OU NON A DE L'ENSILAGE

PERIODES ET LOTS	1ère période - 11 semaines				2ème période - 4 semaines			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
LUZERNE (p. 100 M.A.T.) →	20	20	16	16	20	20	16	16
REGIMES EXPERIMENTAUX — ENSILAGE →	Maïs	Herbe	Maïs	Herbe	0	0	0	0
- Quantités ingérées - kg M.S.								
- Fourrages agglomérés	9,18	12,01	8,19	9,49	16,46	17,60	17,00	16,11
- Ensilages	6,53	5,19	6,84	6,07	–	–	–	–
- Aliment concentré	0,08	0,14	0,03	0,09	0,30	0,18	0,01	0
- Ration totale (P. 100 P.V.)	2,97	3,27	2,89	3,05	3,12	3,27	3,22	3,09
- Lait (kg)	16,1	17,4	15,4	14,9	14,4	15,7	13,4	12,9
- Lait 4 % (kg)	15,3	16,2	14,6	13,6	13,7	14,3	12,6	11,5
- Taux butyreux (g ‰)	36,6	35,5	36,8	34,3	36,7	33,9	36,3	33,4
- Taux protéines (g ‰)	32,2	31,2	31,6	29,3	33,8	33,4	31,9	29,9
- Poids vif (kg)	532	531	522	513	538	544	528	521
- Variations de poids vif (g/j) droite de régression	98	110	- 323	- 207				
- Emploi du temps p. 100 24 heures								
- Consommation (C)	28,2	30,4	31,1	36,0	27,7	28,0	29,8	26,8
- Rumination (R)	25,2	20,8	28,0	27,1	13,5	11,3	12,7	14,9
- Durée mastication (C + R) unitaire (D.M.U.)								
- (Minutes/kg M.S.T.)	44,8	42,3	50,4	54,8	35,8	32,4	36,0	37,8

FIGURE I

UTILISATION PAR LES VACHES LAITIERES DE LUZERNES
DESHYDRATEES AGGLOMEREES ASSOCIEES OU NON A DE L'ENSILAGE



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

GIROU R., BROCHART M., 1970. Niveau énergétique, protéique et fécondité des vaches laitières. - Influence d'une supplémentation alimentaire post-oestrale. Ann. Zootech., **19**, 67-73

JOURNET M., JARRIGE R., 1967. Utilisation des aliments broyés et agglomérés par les bovins. Ann. Zootech., **16**, 271-289

JOURNET M., HODEN A., 1968. Utilisation des fourrages déshydratés par les vaches laitières. Fourrages **36**, 62-80

JOURNET M., 1971. Foins et fourrages déshydratés pour les vaches laitières. La Revue de l'Elevage, 49e numéro spécial, 47-62.

EVOLUTION DE QUELQUES PROPRIETES MECANIQUES DU MUSCLE PENDANT LA MATURATION *

P. SALE

Station de Recherches sur la Viande

Ω Ω Ω

Parmi les transformations *post mortem* qui se produisent dans le muscle, celles qui correspondent à des modifications de la structure des divers constituants jouent un rôle déterminant sur l'évolution des propriétés mécaniques du milieu et, par voie de conséquence, sur le degré final de tendreté que peut atteindre le muscle.

D'une manière générale, l'ensemble des phénomènes qui constituent la maturation des viandes est assez mal connu. Leur étude a été conduite principalement par voie biochimique ou histologique ce qui permet une évaluation sélective de l'évolution des différents composants du muscle. Il est souvent difficile d'en tirer des conclusions précises quant aux modifications des propriétés mécaniques du muscle, celles-ci dépendant dans une large mesure des interactions des divers milieux et, en particulier, des milieux myofibrillaires et conjonctifs.

L'étude directe du comportement mécanique du muscle, qui fait nécessairement intervenir ces diverses interactions, apparaît donc comme un complément indispensable des études biochimiques. On peut penser que la confrontation des résultats obtenus par des méthodes différentes permettra une meilleure connaissance de l'importance relative des propriétés des divers constituants sur le comportement mécanique global du muscle.

Le choix du test mécanique est évidemment fondamental puisqu'il définit la nature des propriétés qui peuvent être mesurées. Toutefois, en l'absence de données précises sur la nature des paramètres mécaniques qui interviennent dans la notion de "tendreté", nous avons commencé par effectuer des expériences de cisaillement, ce procédé étant couramment utilisé pour évaluer la tendreté, notamment dans l'appareil de WARNER et BRATZLER.

I - APPAREIL DE CISAILLEMENT

Le dispositif de cisaillement que nous utilisons est schématiquement représenté sur la figure 1. Il comprend essentiellement une lame L de 1,2 mm d'épaisseur dans laquelle est découpée une fenêtre rectangulaire F, qui coulisse entre deux couteaux C affûtés selon un angle de 45°. L'échantillon, découpé sous forme d'un parallélépipède d'environ 1 cm de côté et quelques centimètres de long est introduit dans la fenêtre et cisaillé perpendiculairement aux fibres entre les arêtes a et à de la lame et des

* *Conférence présentée au XVIIth EUROPEAN MEETING OF MEAT RESEARCH WORKERS - BRISTOL - 6/11 September 71.*

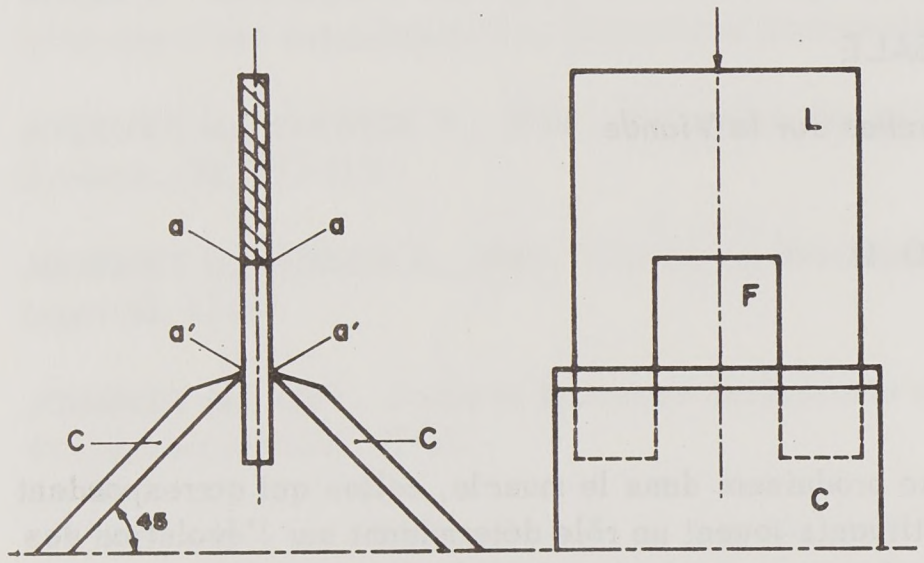


FIGURE 1

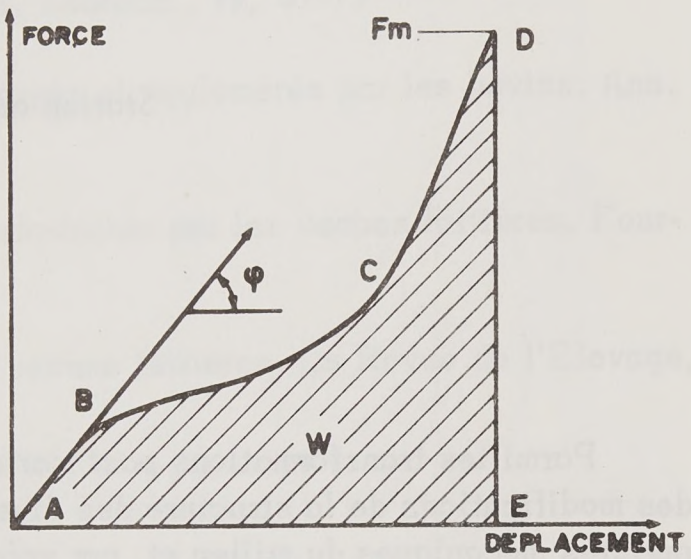


FIGURE 2

couteaux. La vitesse de cisaillement est constante et voisine de 2 mm/ seconde. Des supports réglables permettent d'obtenir d'une part un jeu très faible entre la lame et les couteaux, d'autre part la coincidence simultanée des arêtes a et à.

L'effort exercé sur la lame et son déplacement relatif par rapport aux couteaux sont mesurés à l'aide de capteurs électriques dont les signaux sont envoyés sur les entrées d'un enregistreur XY. On obtient ainsi directement les diagrammes force-déplacement. En outre, un intégrateur associé au capteur de force permet la mesure du travail dépensé au cours du cisaillement.

Ce dispositif a d'abord été utilisé sur une machine hydraulique avec laquelle nous avons effectué les expériences décrites plus loin. Par la suite nous avons réalisé un appareil autonome et facilement transportable à entraînement électro-mécanique. Simultanément à l'enregistrement des diagrammes, deux indicateurs permettent la lecture directe du travail et de la force maximum atteinte au cours du cisaillement.

II - DIAGRAMMES DE CISAILLEMENT DES VIANDES CRUES

A) Généralités

Les diagrammes force-déplacement que nous avons obtenus sur divers muscles de bovin à divers stades de maturation présentent des formes très diverses. Ceci traduit l'intervention de plusieurs phénomènes et de notables variations dans leur importance relative au cours de l'expérience.

Parmi tous les types de diagrammes que nous avons pu rencontrer, celui qui nous paraît à la fois le plus simple et le plus complet est schématiquement représenté sur la figure 2. Ce tracé peut être décomposé en trois parties : une partie initiale sensiblement rectiligne AB, une partie concave BC et un pic final CDE.

- La partie AB correspond à une déformation de faible amplitude de l'échantillon, qui intéresse principalement la zone comprise entre la lame et les couteaux. Le phénomène dominant est donc une compression et on a pu vérifier qu'en pratique elle était inélastique.

- La partie BC correspond à une déformation de grande amplitude au cours de laquelle les fibres situées au contact de la lame et, à un degré moindre, celles situées au contact des couteaux, subissent une courbure de plus en plus accentuée. Ceci s'accompagne d'une augmentation de la largeur de l'échantillon dans le sens transversal et également d'un déplacement d'une partie du milieu musculaire situé à l'aplomb de la lame. En effet, la fraction de l'échantillon que l'on récupère à la fin de l'expérience entre les couteaux présente toujours un volume très inférieur à celui qui était initialement compris entre la lame et les couteaux. Cette phase fait donc intervenir des phénomènes complexes et met en jeu à la fois des effets de compression et de traction.

- Le pic final peut s'interpréter comme le cisaillement proprement dit. L'examen des échantillons permet de penser que, au cours de cette phase de l'expérience, ce sont surtout les éléments du tissu conjonctif qui interviennent.

Trois grandeurs simples peuvent être mesurées sur ce diagramme :

- La pente γ de la partie rectiligne AB caractérise la phase de compression initiale;

- La valeur Fm du maximum atteint par la force au cours de l'expérience caractérise la phase de cisaillement proprement dit;

- Enfin la surface du diagramme est proportionnelle au travail W dépensé au cours du cisaillement.

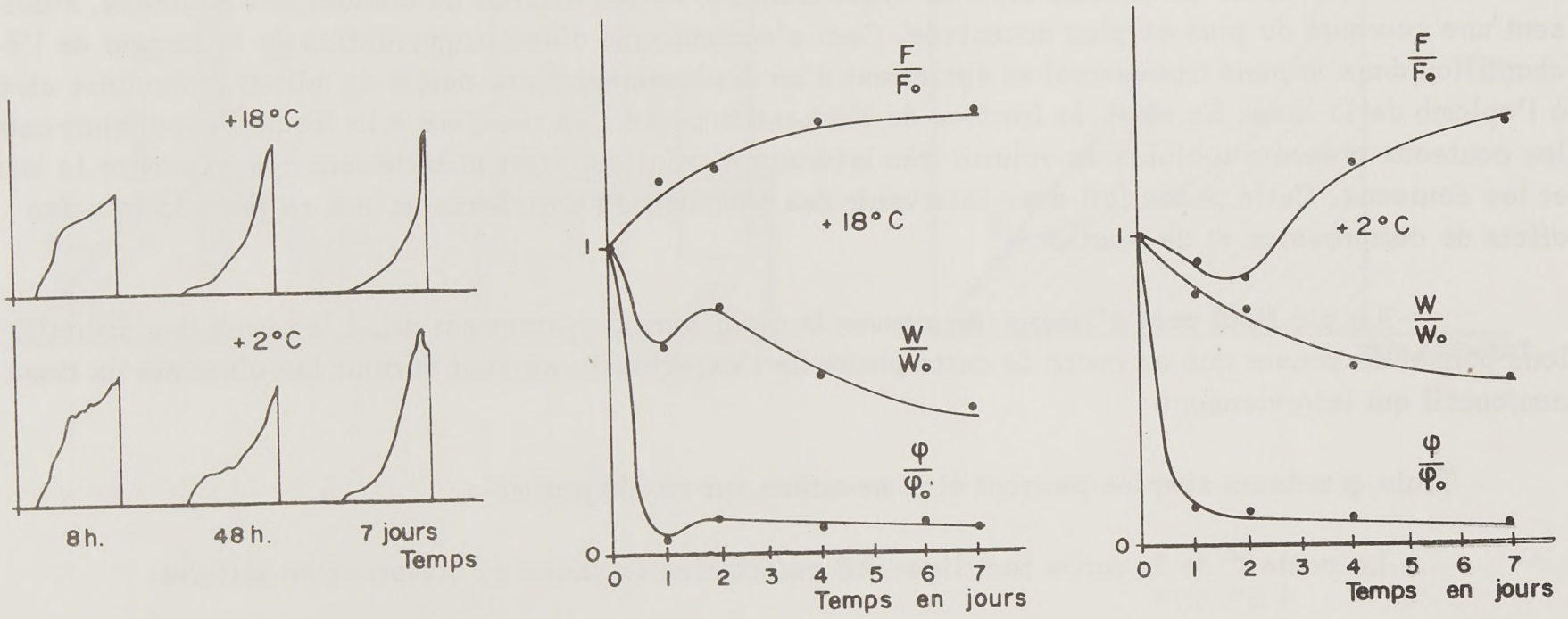
B) Evolution post mortem des diagrammes

En pratique les diagrammes présentent rarement l'allure de la figure 2. Ils en diffèrent principalement par une modification notable de l'importance relative des diverses phases et par une superposition plus ou moins importante de ces phases. Comme les propriétés myofibrillaires jouent un rôle important dans les divers phénomènes qui interviennent au cours du cisaillement, l'allure des diagrammes dépend largement du temps post mortem.

La figure 3 représente l'évolution des diagrammes et des valeurs γ, W et Fm, pour deux échantillons prélevés sur un muscle pectoral profond de taurillon et conservés respectivement à + 18° C et + 2° C.

Les diagrammes obtenus environ 5 heures après l'abattage présentent une partie initiale rectiligne de pente ρ élevée, suivie d'une partie légèrement concave de tracé irrégulier se terminant soit par un plateau soit par un pic peu marqué. La résistance du milieu musculaire à la compression est donc très élevée ce qui entraîne une forte résistance à la déformation. Le cisaillement débute alors sur une épaisseur importante de l'échantillon et s'effectue sur un milieu riche en éléments myofibrillaires. On constate que dans ces conditions la force de cisaillement est sensiblement constante.

FIGURE 3



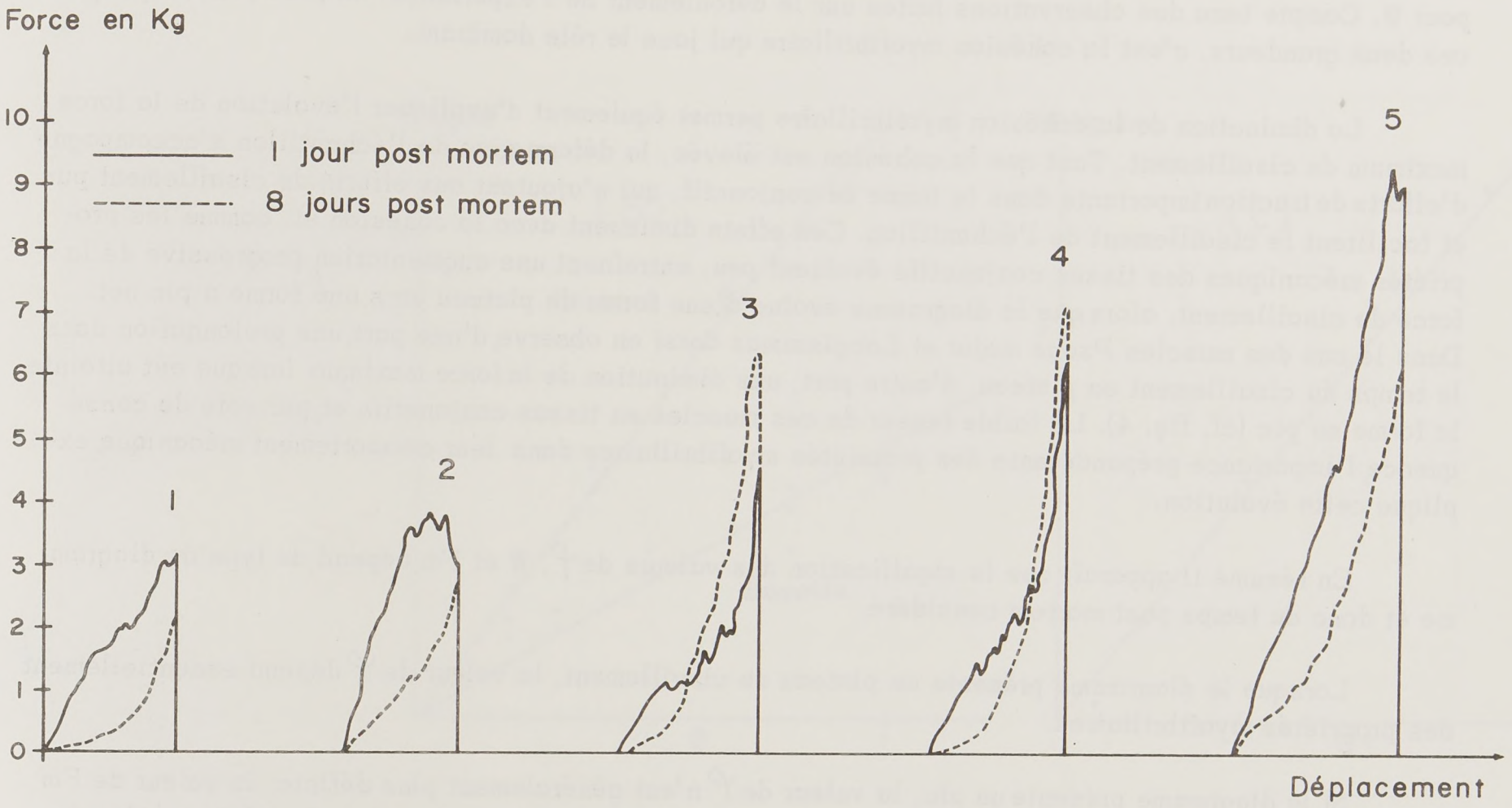
L'évolution post mortem conduit progressivement à des diagrammes qui présentent un pic de cisaillement nettement différencié, mais où la partie initiale rectiligne a disparu, le tracé de la phase de déformation présentant une courbure continue et un tracé très régulier.

Cette évolution dépend des conditions de conservation du muscle et en particulier de la température. Elle est considérablement plus rapide à température élevée. Elle dépend aussi largement du type de muscle, comme le montre la figure 4 qui représente les diagrammes 1 j. et 8 j. post mortem obtenus sur divers muscles de Bovin (vache de 4 ans). On constate que 24 h post mortem le plateau de cisaillement subsiste très nettement pour le *Psoas Major* et le *Longissimus dorsi*, et à un degré moindre pour *Triceps brachii caput laterale*. Mais dans tous les cas la maturation conduit à un type unique de diagramme et ceci est un phénomène général.

Corrélativement, on observe d'importantes variations de valeurs de φ, W et Fm.

La valeur de φ diminue considérablement pendant les premières 48 heures. Au-delà, la partie rectiligne tend à disparaître et la détermination de φ devient aléatoire et peut conduire à une erreur systématique par excès.

FIGURE 4



1 – Longissimus dorsi - 2 - Psoas major - 3 - Semi tendinosus
4 - Pectoralis profundus - 5 - Triceps brachii Caput laterale.

La valeur de Fm évolue de façon notable et différente selon la température de conservation. Pour l'échantillon conservé à température de + 18° cette valeur croît et se stabilise à une valeur supérieure d'environ 50 % à sa valeur initiale. Pour l'échantillon conservé à température de + 2° au contraire Fm commence par diminuer puis croît pour atteindre une valeur voisine de celle obtenue à + 18°.

Enfin le travail subit toujours une diminution mais variable selon les échantillons.

Ce simple exemple montre que le comportement mécanique du milieu musculaire, surtout pendant les premières 48 heures suivant la mort, est très complexe. Il serait nécessaire de connaître la nature de l'importance relative des divers phénomènes qui interviennent au cours de l'expérience de cisaillement pour pouvoir préciser la signification des diverses grandeurs qui caractérisent ces diagrammes. Toutefois la comparaison des résultats précédents et des données classiques de la biochimie des viandes permettent d'avancer quelques hypothèses.

En effet, les études biochimiques montrent que la maturation correspond à une altération croissante de la structure des éléments myofibrillaires (affaiblissement des liaisons actine-myosine, altération de structure au niveau des stries Z et M et au niveau des liaisons inter-myofibrillaires) alors, qu'au moins au niveau du collagène, les tissus conjonctifs évoluent peu. Sur ces bases on peut présumer que les seules modifications appréciables apportées par la maturation aux propriétés mécaniques des viandes portent sur la rigidité et surtout sur la cohésion myofibrillaire.

Puisque les valeurs de γ^2 et de W diminuent pendant la maturation, ces quantités font intervenir

dans une large part les propriétés mécaniques du milieu myofibrillaire, à un degré plus élevé pour φ que pour W. Compte tenu des observations faites sur le déroulement de l'expérience, on peut penser que pour ces deux grandeurs, c'est la cohésion myofibrillaire qui joue le rôle dominant.

La diminution de la cohésion myofibrillaire permet également d'expliquer l'évolution de la force maximum de cisaillement. Tant que la cohésion est élevée, la déformation de l'échantillon s'accompagne d'efforts de traction importante dans la trame de conjonctif, qui s'ajoutent aux efforts de cisaillement pur et facilitent le cisaillement de l'échantillon. Ces effets diminuent avec la cohésion et, comme les propriétés mécaniques des tissus conjonctifs évoluent peu, entraînent une augmentation progressive de la force de cisaillement, alors que le diagramme évolue d'une forme de plateau vers une forme à pic net. Dans le cas des muscles *Psoas major* et *Longissimus dorsi* on observe, d'une part, une prolongation dans le temps du cisaillement en plateau, d'autre part, une diminution de la force maximum lorsque est atteinte la forme en pic (cf. fig. 4). La faible teneur de ces muscles en tissus conjonctifs et, par voie de conséquence, l'importance prépondérante des propriétés myofibrillaires dans leur comportement mécanique, explique cette évolution.

En résumé il apparaît que la signification des valeurs de φ, W et Fm dépend du type de diagramme et donc du temps post mortem considéré.

Lorsque le diagramme présente un plateau de cisaillement, la valeur de φ dépend essentiellement des propriétés myofibrillaires.

Si le diagramme présente un pic, la valeur de φ n'est généralement plus définie; la valeur de Fm caractérise surtout les propriétés du milieu conjonctif alors que celle de W est liée à la fois à celle du conjonctif et du myofibrillaire.

D'une manière générale il apparaît que seules les valeurs de W et Fm pourront être comparées entre différents muscles, à condition que les diagrammes présentent un pic de cisaillement.

III - INFLUENCE DE L'EPAISSEUR INITIALE DE L'ECHANTILLON SUR LES VALEURS Fm et W

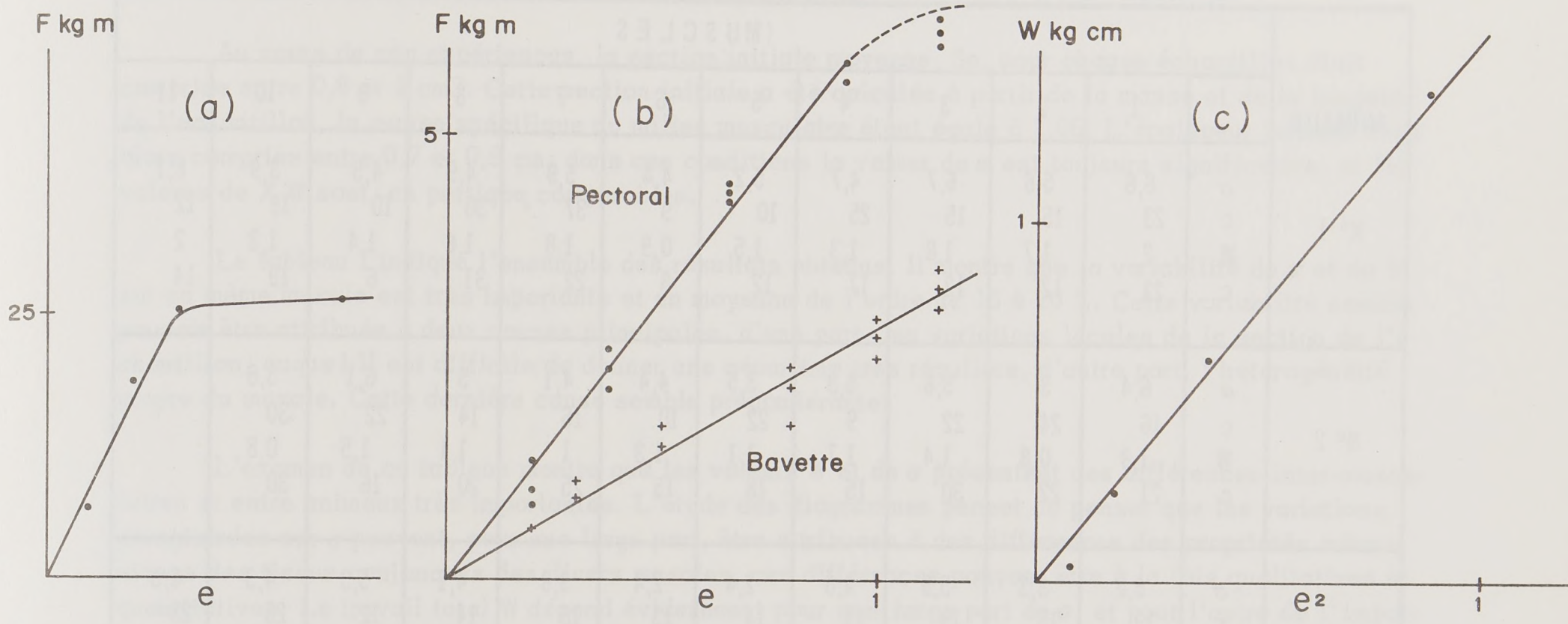
Le mode de cisaillement d'un corps non rigide, et en particulier celui des viandes dépend, dans certaines limites, des caractéristiques propres du dispositif utilisé (épaisseur de la lame, inclinaison des couteaux, angle des arêtes etc...).

Nous avons effectué à l'aide de notre dispositif des expériences de cisaillement sur divers corps homogènes de propriétés mécaniques variées (chewing gum, caoutchouc, papier, polyéthylène). D'une manière générale il apparaît que la forme des diagrammes et la relation entre la force et l'épaisseur initiale sont fonction de l'épaisseur initiale e. Tant que celle-ci reste inférieure à une valeur limite e' la force maximum est proportionnelle à l'épaisseur initiale et les diagrammes présentent un pic. Lorsque l'épaisseur initiale dépasse e', les diagrammes évoluent, selon des modalités propres à chaque corps, vers une forme en plateau, et la force maximum n'est plus proportionnelle à l'épaisseur initiale.

Le même phénomène peut être observé avec des tissus riches en conjonctif, en particulier sur les aponévroses de bavette, qui permettent d'obtenir des lames fines et homogènes d'épaisseur régulière. La figure (5a) montre que l'épaisseur limite est alors voisine de 1mm.

voir figure 5 page suivante .../...

FIGURE 5



Dans le cas des muscles ayant atteint un degré de maturation suffisant pour que le pic de cisaillement soit caractéristique, il apparaît que la force de cisaillement est proportionnelle à l'épaisseur initiale tant que celle-ci reste inférieure à environ 1 cm, cette valeur limite étant légèrement différente selon les muscles (fig. 5b).

La force maximum de cisaillement peut alors s'écrire $Fm = 2\sigma e$. $L = 2\sigma S$ ou L représente la largeur de la fenêtre et S la section initiale de l'échantillon. La quantité $\sigma = \frac{Fm}{2S}$ qui représente la résistance spécifique du muscle pour le cisaillement permet de faire des comparaisons entre muscles, même si l'épaisseur initiale des échantillons n'est pas identique. Ceci n'est plus vérifié si le diagramme présente un plateau de cisaillement même léger, et il apparaît que l'enregistrement des diagrammes est indispensable au moins si l'on ne connait pas le stade de maturation du muscle, pour éviter toute interprétation erronnée de σ.

En ce qui concerne la variation du travail avec l'épaisseur, les résultats apparaissent très variables selon les muscles. Si l'importance relative des divers phénomènes qui interviennent durant le cisaillement était constante, les diagrammes obtenus pour diverses épaisseurs seraient homothétiques et le travail serait proportionnel au carré de l'épaisseur initiale. D'une manière générale cette relation n'est pas vérifiée, sauf dans quelques cas particuliers dont un exemple est donné sur la figure 5c. Les valeurs de W ne peuvent donc être comparées que pour des échantillons présentant des épaisseurs initiales du même ordre.

voir tableau I page suivante

.../...

TABLEAU I

ANIMAUX		MUSCLES										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N° 1	σ	6,6	5,6	6,7	4,7	5,2	4,4	5,9	4,9	4,5	3,9	8,1
	c	23	15	15	25	10	9	37	30	10	16	12
	W	2	1,7	1,8	1,3	1,5	0,9	1,8	1,6	1,4	1,3	2
	c	23	12	12	17	12	8	22	31	6	19	14
N° 2	σ	6,4	3	5,8	5,3	3,5	4,4	4,1	5	6,1	3,6	
	c	16	24	22	9	22	10	16	14	22	30	
	W	1,3	0.8	1,4	1,7	1,1	1,3	1	1,1	1,5	0.8	
	c	21	22	30	15	18	15	25	20	16	30	
N° 3	σ	5,2	3,3	5,9	4,6	2,4	2,4	3,8	4,1	5,3	4,3	6,3
	c	19	15	19	11	14	13	18	14	12	25	23
	W	1,4	1,3	1,6	1,8	0,75	1	1	1,3	1,8	1,5	1,6
	c	12	14	14	14	9	12	23	16	8	20	17
N° 4	σ	6,2	5	5,3	4,5	4,2	4,6	5,7	4,6	6,8	3,6	8
	c	13	14	27	19	8	19	16	24	17	26	12
	W	1,8	1,3	1,5	1,3	2,1	1,7	1,7	1,2	1,6	1,1	2,4
	c	21	15	20	11	18	17	23	20	17	32	18
N° 5	σ	5,4	5,1	6,7	5	4,5	4,8	3,8	3,8	5,4	4,8	7,5
	c	16	20	23	10	35	17	13	25	16	14	10
	W	1,2	1,5	1,7	1,3	1,5	1,3	1,1	1	1,6	1,4	2,6
	c	15	15	15	20	34	16	23	30	17	15	10
N° 6	σ	4,1	3,8	4,8	4,8	3,5	3,4	3,5	4	4,7	4	7,8
	c	25	6,5	10	14	18	15	13	10	9	18	21
	W	1,2	1,1	1,3	1,6	1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	2,2
	c	26	10	12	20	15	7	23	9	21	17	32

c = coefficient de variation (%)

1 - Triceps brachii caput longum
2 - Semi spinalis cabitis
3 - Supra spinatus
4 - Latissimus dorsi
5 - Splenius
6 - Rhomboïdeus
7 - Infra spinatus
8 - Pectoralis profundus (partie scapulaire)
9 - Pectoralis profundus (partie sternale)
10 - Transversus abdominis
11 - Extensor carpi radialis

IV - FORCE ET TRAVAIL DE CISAILLEMENT DE DIVERS MUSCLES MATURES

Nous avons mesuré les valeurs de σ et de W sur 11 muscles différents prélevés sur de jeunes taurillons âgés de 14 à 16 mois. Les mesures ont été effectuées 4 jours après l'abattage.

Au cours de ces expériences, la section initiale moyenne, So, pour chaque échantillon était comprise entre 0,8 et 1 cm2. Cette section initiale a été calculée à partir de la masse et de la longueur de l'échantillon, la masse spécifique du milieu musculaire étant égale à 1,06. L'épaisseur initiale était alors comprise entre 0,7 et 0,9 cm; dans ces conditions la valeur de σ est toujours significative, et les valeurs de X W sont, en pratique, comparables.

Le tableau I indique l'ensemble des résultats obtenus. Il montre que la variabilité de σ et de W sur un même muscle est très importante et en moyenne de l'ordre de 15 à 20 %. Cette variabilité semble pouvoir être attribuée à deux causes principales, d'une part, les variations locales de la section de l'échantillon, auquel il est difficile de donner une géométrie très régulière, d'autre part, l'hétérogénéité propre du muscle. Cette dernière cause semble prépondérante.

L'examen de ce tableau montre que les valeurs W et de σ présentent des différences inter-musculaires et entre animaux très importantes. L'étude des diagrammes permet de penser que les variations enregistrées sur σ peuvent, pour une large part, être attribuées à des différences des propriétés mécaniques des tissus conjonctifs des divers muscles, ces différences pouvant être à la fois qualitatives et quantitatives. Le travail total W dépend évidemment pour une large part de σ, et pour l'autre de l'importance des phénomènes de déformation qui précèdent le cisaillement proprement dit, ces derniers faisant intervenir les propriétés myofibrillaires et les répartitions du conjonctif. Pour deux muscles présentant des forces de cisaillement comparables, les différences dans la valeur de W traduisent donc des différences dans les phénomènes de déformation et d'une façon générale on peut acaractériser l'importance relative de cette déformation, par rapport au cisaillement proprement dit, par la quantité $\alpha = \frac{W}{\sigma . e}$.
La valeur de α est légèrement supérieure à 0,5 tant que les diagrammes présentent un plateau de cisaillement, puis diminue au cours de la maturation, parallèlement à la dégradation des propriétés mécaniques myofibrillaires (VALIN, SALE 1970).

Les valeurs de α pour les différents muscles sont indiquées sur le tableau II. Si l'on considère les valeurs moyennes pour chaque animal, soit respectivement 0,28; 0,26; 0,30, 0,30; 0,28 et 0,29, elles présentent des différences relativement faibles. Par contre pour chaque muscle pris individuellement les écarts sont très notables et ne présentent pas de caractère systèmatique pour un muscle déterminé.

Au cours d'une autre expérience, nous avons déterminé sur les muscles *Longissimus dorsi* et *Pectoralis profundus* sur 15 jeunes taurillons. Nous avons obtenu 7 jours après l'abattage des valeurs moyennes respectivement égales à 0,21 et 0,20 sur ces deux muscles, mais encore avec une dispersion importante voisine de 30 %.

La valeur moyenne de α, déterminée sur un échantillonnage suffisant de muscles, apparaît donc liée au temps post mortem, d'une façon comparable pour les divers animaux placés dans les conditions post mortem équivalentes. Si les résultats ultérieurs font apparaître que cette relation présente un caractère général, elle permettra de définir une valeur moyenne de α fonction de l'âge post mortem et donc d'un état de maturation. Ceci fournirait un moyen simple et rapide, par la seule détermination de α, pour l'évaluation de l'état de maturation d'une carcasse.

voir tableau II page suivante .../...

TABLEAU II

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\frac{W}{Fm}$ 1	0,30	0,30	0,26	0,26	0,29	0,19	0,29	0,32	0,31	0,32	0,24
2	0,20	0,25	0,24	0,37	0,31	0,28	0,23	0,21	0,24	0,23	
3	0,20	0,37	0,26	0,39	0,30	0,44	0,27	0,32	0,34	0,35	0,25
4	0,29	0,26	0,27	0,28	0,40	0,36	0,29	0,26	0,24	0,29	0,30
5	0,23	0,29	0,26	0,26	0,33	0,26	0,29	0,26	0,30	0,29	0,34
6	0,28	0,30	0,27	0,33	0,29	0,33	0,33	0,30	0,25	0,29	0,25

1 - Triceps brachii caput longum
2 - Semi spinalis cabitis
3 - Supra spinatus
4 - Latissimus dorsi
5 - Splenius
6 - Rhomboïdeus
7 - Infra spinatus
8 - Pectoralis profundus (partie scapulaire)
9 - Pectoralis profundus (partie sternale)
10 - Transversus abdominis
11 - Extensor carpi radialis

Si l'on considère la valeur de α relative à un seul muscle, elle diffère en général d'une façon appréciable de la valeur moyenne, ce que nous interprétons comme une différence dans l'importance relative des phénomènes de déformation et de cisaillement proprement dit. On peut envisager deux causes essentielles à ces différences, soit des différences dans la structure du muscle, une texture plus serrée de la trame de conjonctif conduisant à une valeur plus élevée de W, donc de α, soit une différence dans les propriétés mécaniques des milieux myofibrillaires, qui pourraient être interprétés comme traduisant des stades de maturation différents des divers muscles. Des expériences complémentaires seront nécessaires pour préciser ce dernier point.

En conclusion l'analyse des diagrammes de cisaillement permet une évaluation des propriétés mécaniques des milieux myofibrillaires et conjonctifs. Même si cette évaluation reste imparfaite, notamment parce que les phénomènes d'interaction entre les deux milieux n'apparaissent pas nettement individualisés, elle apporte des éléments importants pour l'étude de la maturation des viandes.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

SALÉ P., VALIN C. Problèmes posés par la détermination des modifications de la structure du muscle au cours de la maturation. 16th Europ. Meet. Res. Workers - VARNA - Tome I - 35-44.

UTILISATION COMPAREE DE L' ENSILAGE DE MAIS ET DU MAIS DESHYDRATE POUR LA PRODUCTION DE JEUNES BOVINS

C. MALTERRE * , Y. GEAY * , G. BERTIN ** , L. HUGUET **
J. PELOT *** avec la collaboration de R. JAILLER *
P. HENAULT *** et M. SIMEON ***

* *Station de Recherches sur l'Elevage des Ruminants*
** *Station d'Amélioration des Plantes Fourragères*
*** *Station de Recherches de Physiologie Animale*

Ω Ω Ω

Depuis quelques années, la culture du maïs s'est accrue de façon considérable en France. Parallèlement, l'utilisation de la plante entière ensilée pour la production de viande bovine s'est rapidement développée et constitue actuellement une des principales sources d'alimentation des jeunes bovins.

Les nombreux résultats obtenus aux Etats-Unis et un certain nombre d'études réalisées en France ont permis d'effectuer sur ce sujet des synthèses partielles (C. MALTERRE et al., 1970 ; DEMARQUILLY et al (sous presse)).

Cependant, avec le développement de la déshydratation, une nouvelle forme d'utilisation de la plante entière de maïs est apparue. Les usines de déshydratation se sont en effet intéressées au maïs fourrage qui leur permettait de prolonger au maximum leur campagne d'activité et de réduire ainsi les frais d'amortissement de leurs installations. Toutefois, le développement encore trop récent de cette nouvelle forme d'utilisation de la plante de maïs n'en a pas permis l'étude systématique avant 1969. Par ailleurs, les résultats à notre disposition tant en France qu'à l'étranger ont été très peu nombreux (I.T.C.F., 1968 - COTTYN., 1969).

Il importait donc de répondre rapidement à cette question : quelle est la valeur alimentaire de ce produit déshydraté et les conditions de son utilisation optimale, soit comme constituant principal de la ration d'engraissement des bovins à viande, soit comme complément lorsqu'il se substitue en partie aux aliments concentrés ? Cette réponse apparaissait urgente et importante aux agriculteurs de certaines régions qui s'interrogaient sur l'orientation à prendre en matière de déshydratation.

L'I.T.C.F. en 1967 et 1968 a réalisé deux essais de substitution du maïs déshydraté condensé à de l'orge, dans une ration complète. Les résultats obtenus, très concordants, ont révélé que la valeur énergétique du maïs déshydraté, utilisé jusqu'à 60 % dans la ration, représente 80 à 90 % de celle de l'orge. Dans ces conditions d'utilisation, la déshydratation semble améliorer la valeur énergétique du maïs plante entière par rapport à l'ensilage ou même du maïs sur pied (I.T.C.F., 1968-1970 b).

En revanche, dans les comparaisons effectuées par la Maison de l'Elevage de Quimper et l'I.T.C.F. en 1968 et 1969 entre maïs déshydraté et maïs ensilé, utilisés en forte proportion dans la ration (70 à 80 % de la matière sèche), la valeur énergétique du maïs déshydraté s'est révélée inférieure à celle du maïs ensilé (I.T.C.F., 1970 a et c). Il faut noter toutefois que le maïs déshydraté et le maïs ensilé utilisés à Quimper étaient d'origine différente et que les taurillons ayant reçu l'ensilage de maïs ont fourni des carcasses beaucoup moins grasses que celles de leurs homologues ayant reçu le maïs déshydraté.

Compte-tenu de ces résultats discordants, nous avons entrepris une série d'études plus systématiques et plus complètes ayant pour objectif de préciser la valeur alimentaire du maïs plante entière déshydraté comparativement à celle du maïs plante entière ensilé. Dans chacune de ces expériences, le maïs déshydraté et le maïs ensilé constituaient 80 à 90 % de la matière sèche de la ration, étaient de même variété, en provenance d'une même parcelle et récoltés le même jour. Nous avons en outre pu estimer la composition des carcasses de l'ensemble des animaux à partir de celle de la 11ème côte.

ETUDES EXPERIMENTALES

De 1969 à 1971, nous avons réalisé 5 expériences. Afin de mesurer l'influence du mode de conservation du maïs sur les quantités ingérées, 4 de ces expériences ont comporté des lots d'animaux alimentés à volonté (5 % de refus). En outre, pour évaluer plus exactement la valeur énergétique du maïs déshydraté comparativement à celle de l'ensilage, nous avons dans la 3ème et la 5ème expérience, fait ingérer à un des lots d'animaux la même quantité de matière sèche de maïs déshydraté que celle consommée par le lot homologue recevant le maïs ensilé.

Ces expériences ont porté au total sur 179 animaux. Le type d'animal retenu a été un taurillon conduit intensivement durant 3 à 7 mois et abattu à un âge compris entre 16 et 20-22 mois.

Les taurillons utilisés étaient de races Salers, Normande, Frisonne Française et Frisonne Danoise, Montbéliarde, ou issus de croisements avec un taureau de race charolaise. Ils ont tous été engraissés au cours de l'hiver et la durée de la période expérimentale a varié de 89 à 206 jours selon les expériences. Les animaux utilisés lors des 4 premières expériences ont tous été maintenus en stabulation libre sur aire paillée ; ceux de la 5ème expérience ont, en revanche, été conduits en stabulation entravée, sur paille également, durant la totalité de la période d'engraissement. Au cours de cette période, les quantités ingérées (par lot pour les 4 premières expériences et individuelles pour la cinquième expérience) ont été mesurées chaque jour. La teneur en matière sèche de l'ensilage frais et des refus a été mesurée soit chaque jour, soit 2 à 3 fois par semaine selon les expériences ; celle du maïs déshydraté et des refus ainsi que celle du concentré a été mesurée 1 à 2 fois par semaine. Les refus ont été enlevés chaque jour avant la distribution du 1er repas de la journée.

La croissance des animaux a été calculée individuellement à partir des résultats des pesées qui ont eu lieu toutes les deux semaines (une seule pesée alternant avec deux pesées consécutives par semaine dans le cas des expériences 1 - 3 et 5). En outre, deux ou trois pesées consécutives ont été réalisées lors de la mise en lots des animaux ainsi qu'au début et à la fin de la période expérimentale et avant le départ des animaux pour l'abattoir.

Tous les animaux ayant pu être abattus au C.R.Z.V. de Theix, nous avons mesuré les rendements en carcasse et le poids des éléments du 5ème quartier. La carcasse de chaque animal a, en outre, fait l'objet d'un certain nombre de mensurations et de pesées après découpe. Enfin, pour caractériser la proportion respective de muscles et de dépôts adipeux dans la carcasse, on a pesé les dépôts adipeux internes (mésentérique et péritonéal), le dépôt adipeux périrénal ainsi que précrural ; la 11ème côte

prélevée sur le «pan traité» de la demi-carcasse gauche a été disséquée (GEAY Y., BERANGER C., 1969).

L'ensemble des résultats de ces diverses expériences figurent aux tableaux 1 à 5.

- Première expérience - (Tableau I)

En 1969, à Bressonvillers, nous avons comparé le maïs plante entière ensilé au même maïs plante entière déshydraté compacté, tous deux ayant été distribués à volonté. Le maïs utilisé était de la variété INRA 258 récolté à une teneur moyenne en matière sèche de 38 %. L'ensilage a été réalisé dans un silo tour non hermétique, la déshydratation dans une installation à haute température ; le compactage a été réalisé à l'aide d'une presse Century n°125 à filières, d'un diamètre de 12 mm. Pour permettre aux animaux d'avoir un niveau de croissance élevé, nous avons distribué, en plus du maïs, 3 kg d'un aliment concentré condensé comprenant : 66 % d'orge, 30,5 % de tourteau de colza toasté et 3,5 % d'un complément minéral vitaminisé.

Nous avons utilisé pour cette expérience deux lots de 17 animaux Frisons Danois, âgés en moyenne de 18 mois au début de l'expérience. Ces animaux ont tous été sevrés précocement et conduits dans des conditions semblables de la naissance au début de l'engraissement.

Les animaux recevant le maïs déshydraté (lot 2) ont consommé plus de matière sèche de maïs (19 %) que ceux recevant l'ensilage (lot 1) (Tableau 1). Malgré cela, ils ont eu un gain de poids vif plus faible que celui des animaux du lot 1 (1 300 contre 1 454 g/jour, $P < 0,01$). Par suite, l'efficacité alimentaire de la ration à base de maïs déshydraté a été moins bonne que celle de la ration à base d'ensilage (27 % de matière sèche en plus par kg de gain de poids vif). Enfin, les carcasses des animaux du lot 2 ont eu un état d'engraissement significativement inférieur ($P < 0,05$), ce qui accentue encore la moins bonne efficacité du maïs déshydraté.

- Deuxième expérience - (Tableau II)

En 1969, à Lusignan, nous avons comparé le maïs plante entière ensilé au même maïs plante entière déshydraté comprimé, tous deux ayant été distribués à volonté comme précédemment. Le maïs utilisé était de la variété IOWA 4417 récolté à une teneur moyenne en matière sèche de 31 %. L'ensilage a été réalisé dans un silo couloir en béton, la déshydratation dans une installation à basse température, le comprimé a été réalisé à l'aide d'une presse Muller à piston de 50 mm de diamètre. Nous avons distribué, en outre, aux animaux 1 kg d'orge et 1 kg de luzerne déshydratée condensée enrichie en urée et minéraux (80 % de luzerne, 10 % d'urée et 10 % d'un condiment minéral vitaminique). Nous avons utilisé 30 taurillons Salers âgés de 10 mois environ au début de la période d'engraissement et répartis en 2 lots homogènes de 15 animaux.

Comme dans la première expérience, le maïs déshydraté a été consommé en plus grande quantité (8 % de matière sèche en plus) que l'ensilage (Tableau 2). Les animaux qui ont reçu le maïs déshydraté ont eu un gain de poids journalier légèrement inférieur (1 196 contre 1 272 g/jour, différence non significative), une efficacité alimentaire moins bonne (10 % de matière sèche en plus par kg de gain) et ont produit des carcasses moins grasses que ceux recevant l'ensilage.

Ces résultats confirment donc ceux de la première expérience ; toutefois, la différence de consommation entre le régime à base d'ensilage de maïs et celui à base de maïs déshydraté a été plus faible par suite vraisemblablement de la forme différente de conditionnement du maïs déshydraté : comprimé dans cette expérience au lieu de compacté dans la première.

TABLEAU I

UTILISATION DU MAIS DESHYDRATE OU DE L'ENSILAGE DE MAIS
POUR L'ENGRAISSEMENT DES JEUNES BOVINS

Expérience nº 1 (Bressonvillers 1969-1970) (Taurillons Frisons Danois)

LOTS	1 Ensilage de maïs à volonté	2 Maïs déshydraté compacté à volonté
POIDS VIF ET GAIN DE POIDS :		
Nombre d'animaux	17	17
Durée moyenne d'engraissement (jours)	89 ± 18	89 ± 18
Age moyen initial (jours)	546 ± 55	548 ± 55
Poids lors de la mise en lot (kg)	425 ± 45	427 ± 43
Poids initial (kg)	453 ± 49	453 ± 41
Poids final (kg)	582 ± 42	569 ± 30
Gain de poids moyen journalier (g/jour)	1 454** ± 169	1 300 ± 113
QUANTITES INGEREES :		
Quantité de matière sèche ingérée (kg)		
- par jour :		
. Maïs	8,45	10,04
. Concentré	2,54	2,54
- par 100 kg de poids vif :		
. Maïs	1,66	1,97
. Total	2,16	2,48
- par kg de gain :		
- Total	7,55	9,61
POIDS, RENDEMENTS ET ETAT D'ENGRAISSEMENT DES CARCASSES		
Poids vif au jour de l'abattage (kg)	595 ± 42	578 ± 31
Poids vif vide (kg)	498 ± 43	480 ± 28
Poids de carcasse chaude (kg)	322 ± 27	312 ± 19
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif}} \times 100$	54,3 ± 1,4	54,0 ± 2,0
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	64,7 ± 0,9	65,0 ± 1,0
$\frac{\text{Dépôts adipeux périrénal et précrural}}{\text{Poids de carcasse}} \times 100$	2,83 ± 0,44	2,63 ± 0,52
$\frac{\text{Dépôts adipeux internes}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	2,17 ± 0,44	1,94 ± 0,43
$\frac{\text{Dépôts adipeux de la 11ème côte}}{\text{Poids de la 11ème côte}} \times 100$	19,9* ± 2,9	17,5 ± 2,6

* Différence significative à $P < 0,05$ par rapport au lot 2.
** Différence hautement significative à $P < 0,01$ par rapport au lot 2.
N.B. L'ensemble des poids et des gains de poids ont été calculés après ajustement de la courbe de croissance de chaque animal par régression linéaire.

TABLEAU II

UTILISATION DU MAIS DESHYDRATE OU DE L'ENSILAGE DE MAIS
POUR L'ENGRAISSEMENT DES JEUNES BOVINS

Expérience n° 2 (Lusignan 1969-1970) (Taurillons Salers)

LOTS	1 Ensilage de maïs à volonté	2 Maïs déshydraté comprimé à volonté
POIDS VIF ET GAIN DE POIDS :		
Nombre d'animaux	15	15
Durée moyenne d'engraissement (jours)	208 ± 24	205 ± 24
Age moyen initial (jours)	~ 10 mois	~ 10 mois
Poids lors de la mise en lot (kg)	280 ± 21	280 ± 17
Poids initial (kg)	301 ± 24	304 ± 21
Poids final (kg)	564 ± 16	548 ± 33
Gain de poids moyen journalier (g/jour)	1 272 ± 122	1 196 ± 120
QUANTITES INGEREES :		
Quantité de matière sèche ingérée (kg)		
- par jour :		
. Maïs	6,99	7,48
. Concentré	1,72	1,78
- par 100 kg de poids vif :		
. Maïs	1,62	1,76
. Total	2,01	2,18
- par kg de gain :		
. Total	6,90	7,74
POIDS, RENDEMENTS ET ETAT D'ENGRAISSEMENT DES CARCASSES		
Nombre d'animaux (1)	10	10
Poids vif au jour de l'abattage (kg)	574 ± 7	558 ± 27
Poids vif vide (kg)	493 ± 10	473 ± 21
Poids de carcasse chaude (kg)	325 ± 11	313 ± 14
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif}} \times 100$	56,6 ± 1,8	56,2 ± 1,3
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	66,6 ± 1,5	66,3 ± 1,3
$\frac{\text{Dépots adipeux périrénal et précrural}}{\text{Poids de carcasse}} \times 100$	2,49 ± 0,63	2,36 ± 0,69
$\frac{\text{Dépôts adipeux internes}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	1,45 ± 0,31	1,46 ± 0,25
$\frac{\text{Dépôts adipeux de la 11ème côte}}{\text{Poids de la 11ème côte}} \times 100$	15,4 ± 2,5	13,5 ± 2,5

(1) Seuls 10 couples d'animaux ont pu être contrôlés pour l'ensemble des critères retenus à l'abattage.

N.B. L'ensemble des poids et des gains de poids ont été calculés après ajustement de la courbe de croissance de chaque animal par régression linéaire.

TABLEAU III

UTILISATION DU MAIS DESHYDRATE OU DE L'ENSILAGE DE MAIS
POUR L'ENGRAISSEMENT DES JEUNES BOVINS

Expérience n° 3 (Bressonvillers 1970 - 1971) (Taurillons Frisons Danois)

LOTS	1 Ensilage de maïs à volonté	2 Maïs déshydraté compacté limité	3 Maïs déshydraté compacté à volonté
POIDS VIF ET GAIN DE POIDS :			
Nombre d'animaux	14	15	15
Durée moyenne d'engraissement (jours)	110 ± 21	110 ± 22	110 ± 22
Age moyen initial (jours)	485 ± 58	478 ± 58	480 ± 56
Poids lors de la mise en lot (kg)	409 ± 43	405 ± 45	405 ± 46
Poids initial (kg)	424 ± 45	429 ± 47	426 ± 48
Poids final (kg)	544 ± 28	553 ± 37	565 ± 35
Gain de poids moyen journalier (g/jour)	1 106 ± 202	1 126 ± 127	1 250 ** ± 117
QUANTITES INGEREES :			
Quantité de matière sèche ingérée (kg)			
- par jour :			
. Maïs	9,30	9,35	10,56
. Concentré	1,35	1,35	1,35
- par 100 kg de poids vif :			
. Maïs	1,96	1,93	2,15
. Total	2,25	2,21	2,43
- par kg de gain :			
. Total	9,70	9,61	9,60
POIDS, RENDEMENTS ET ETAT D'ENGRAISSEMENT DES CARCASSES :			
Poids vif au jour de l'abattage (kg)	552 ± 29	560 ± 38	573 ± 37
Poids vif vide (kg)	461 ± 29	470 ± 35	476 ± 29
Poids de carcasse chaude (kg)	292 ± 14	301 ± 24	301 ± 19
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif}} \times 100$	53,0 ± 0,8	53,7 ± 1,6	52,7 ± 1,0
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	63,3 ± 1,3	64,0 ± 1,1	63,4 ± 1,2
$\frac{\text{Dépôts adipeux périrénal et précrural}}{\text{Poids de carcasse}} \times 100$	1,98 ± 0,70	2,21 ± 0,40	2,35 ± 0,44
$\frac{\text{Dépôts adipeux internes}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	1,85 ± 0,43	1,88 ± 0,36	2,00 ± 0,48
$\frac{\text{Dépôts adipeux de la 11ème côte}}{\text{Poids de la 11ème côte}} \times 100$	16,9 ± 3,9	17,2 ± 3,6	18,5 ± 2,7

** Différence hautement significative à $P < 0,01$ par rapport aux lots 1 et 2.

N.B. L'ensemble des poids et des gains de poids ont été calculés après ajustement de la courbe de croissance de chaque animal par régression linéaire.

-Troisième expérience (Tableau III)

En 1970, à Bressonvillers, nous avons comparé cette fois 3 régimes alimentaires comportant toujours le maïs plante entière comme élément principal.

- Dans le premier régime, le maïs a été ensilé et distribué à volonté aux animaux.
- Dans le second régime, le maïs a été déshydraté puis compacté et distribué de telle sorte que les animaux ingèrent, par jour, la même quantité de matière sèche que leurs homologues du lot précédent sous forme d'ensilage.
- Dans le troisième régime, le maïs déshydraté compacté a été distribué à volonté aux animaux.

Le maïs utilisé était de la variété INRA 310, récolté à une teneur moyenne en matière sèche de 47 %. Les techniques de conservation ont été les mêmes que celles employées lors de la 1ère expérience.

Nous avons distribué aux animaux, en complément du maïs plante entière, 1,5 kg d'un mélange comprenant 33 % de maïs grain, 60 % de tourteau de colza toasté et 7 % de minéraux et vitamines.

Ainsi que dans la 1ère expérience, nous avons utilisé des taurillons Frisons Danois âgés de 16 mois environ au début de la période d'engraissement mais cette fois répartis en 3 lots de 15 animaux.

Les quantités de maïs plante entière ingérées par les animaux du lot 3 ont toujours été plus élevées que celles consommées par ceux du lot 1 (tableau 3) (13,5 % de matière sèche en plus).

Les animaux des lots 1 et 2 ayant reçu la même quantité de matière sèche déshydratée ou ensilée ont eu un gain de poids vif identique ; ceux du lot 3 ont eu un gain de poids significativement supérieur ($P < 0,01$) à celui des deux autres lots. Cependant, malgré l'augmentation des quantités ingérées, l'efficacité alimentaire des trois rations a été identique.

Enfin, les animaux ayant reçu à volonté ou en quantité limitée le maïs déshydraté compacté ont formé davantage de graisse que ceux du lot 1, les différences entre lots n'étant cependant pas significatives.

Ces résultats sont différents de ceux obtenus dans les deux essais précédents ; il faut toutefois remarquer que l'ensilage utilisé dans cette troisième expérience avait une teneur en matière sèche anormalement élevée (47 % en moyenne) et qu'il s'est très mal conservé, le hachage et le tassement ayant été insuffisants. L'ensilage utilisé était donc de mauvaise qualité, ce qui se touve confirmé lorsque nous comparons les résultats de cette expérience à ceux de la première où nous avions les mêmes types de fourrage et d'animaux : l'efficacité alimentaire du maïs déshydraté distribué à volonté a été en effet identique dans les deux expériences tandis que celle de l'ensilage a été nettement plus élevée dans l'expérience 1 que dans l'expérience 2.

On remarque (Tableau 3) une discordance entre le fait que les animaux du lot 3 ont présenté par rapport à ceux du lot 2 un gain de poids vif journalier, un niveau d'ingestion supérieurs et le fait qu'ils aient produit des carcasses de même poids. La différence de gain de poids vif s'explique par des différences de poids de contenu digestif entre les lots, peut-être en début de période expérimentale et surtout le jour de l'abattage.

Ainsi, les gains moyens quotidiens de carcasses ayant été identiques et les quantités de matière sèche ingérées ayant été différentes, l'efficacité alimentaire des deux régimes n'a pas été identique mais plus élevée lorsque le maïs déshydraté a été distribué en quantité limitée.

TABLEAU IV

UTILISATION DU MAIS DESHYDRATE OU DE L'ENSILAGE DE MAIS
POUR L'ENGRAISSEMENT DES JEUNES BOVINS

Expérience nº 4 (Lusignan 1970 - 1971) (Taurillons Normads)

- Résultats provisoires -

LOTS	1 Ensilage de mais à volonté	2 Maïs déshydraté comprimé à volonté	3 Maïs déshydraté compacté à volonté	4 Maïs déshydraté condensé à volonté
POIDS VIF ET GAIN DE POIDS :				
Nombre d'animaux	12	12	11	12
Durée moyenne d'engraissement (jours)	152 ± 12	151 ± 12	150 ± 11	152 ± 12
Age moyen initial (jours)	≃ 15 mois	≃ 15 mois	≃ 15 mois	≃ 15 mois
Poids lors de la mise en lot (kg)	360	356	361	358
Poids initial (kg)	385	381	385	382
Poids final (kg)	556	533	563	560
Gain de poids moyen journalier (g/jour)	1 136	991	1 194	1 189
QUANTITES INGEREES :				
Quantité de matière sèche ingérée (kg)				
- par jour :				
. Maïs	8,08	8,85	9,35	8,90
. Concentré	0,87	0,87	0,87	0,77
- par 100 kg de poids vif :				
. Maïs	1,72	1,94	1,99	1,89
. Total	1,90	2,13	2,18	2,05
- par kg de gain :				
. Total	7,89	9,81	8,48	8,12
POIDS, RENDEMENTS ET ETAT D'ENGRAISSEMENT DES CARCASSES :				
Nombre d'animaux (1)	12	11	11	12
Poids vif au jour de l'abattage (kg)	563	537	570	569
Poids vif vide (kg)	481 + 28	450 + 23	479 + 21	482 + 21
Poids de carcasse chaude (kg)	317 ± 23	296 ± 18	318 ± 18	320 ± 15
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif}} \times 100$	56,2	55,0	55,8	56,2
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	65,9 ± 1,5	65,7 ± 1,4	66,4 ± 1,6	66,4 ± 1,5
$\frac{\text{Dépôts adipeux périrénal et précrural}}{\text{Poids de carcasse}} \times 100$	2,72 ± 0,53	1,94 ± 0,63	2,45 ± 0,84	2,14 ± 0,49
$\frac{\text{Dépôts adipeux internes}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	1,92 ± 0,47	1,64 ± 0,47	1,92 ± 0,55	1,89 ± 0,46
$\frac{\text{Dépôts adipeux de la 11ème côte}}{\text{Poids de la 11ème côte}} \times 100$	18,4 ** ± 3,50	14,0 ± 3,1	15,5 ± 2,4	15,7 ± 3,4

(1) Un animal du lot 2 a du être éliminé juste avant l'abattage par suite d'un accident.

N.B. - L'ensemble des poids et des gains de poids ont été calculés après ajustement de la courbe de croissance de chaque animal par régression linéaire.

** - L'analyse statistique n'a porté que sur 4 résultats de carcasses.
Différence hautement significative à $P < 0,01$ entre les lots 1 et 2.

- Quatrième expérience (Tableau IV)

En 1970, à Lusignan, nous avons comparé 4 régimes comportant du maïs plante entière distribué à volonté, conservé et présenté de différentes façons : ensilé, déshydraté comprimé, déshydraté compacté et déshydraté condensé. Le maïs utilisé était comme en 1969 de l'IOWA 4417, récolté à une teneur en matière sèche de 32 %. Il a également été ensilé dans un silo couloir en béton ou déshydraté dans une installation à basse température ; le maïs déshydraté a ensuite été soit comprimé dans une presse Muller à piston de 50 mm de diamètre, soit compacté dans une presse Roussel à filières de 10 mm de diamètre, soit enfin condensé c'est-à-dire broyé à la grille de 3 mm et aggloméré dans la presse à filières de 10 mm de diamètre.

En complément de ce maïs plante entière, nous avons distribué aux animaux de chacun des lots 1 kg de tourteau de colza toasté et 100 g de minéraux et vitamines.

Nous avons utilisé dans cette expérience 48 taurillons Normands âgés au départ de 14 à 16 mois environ et répartis en 4 lots de 12 animaux.

Comme dans les expériences précédentes, le maïs déshydraté a été consommé en plus grande quantité que l'ensilage (8 à 15 % de matière sèche en plus selon le mode de conditionnement (Tableau 4)). Le gain de poids vif moyen journalier des animaux qui ont reçu l'ensilage (lot 1) a cependant été supérieur à celui des animaux du lot 2 (145 g/j) et légèrement inférieur à celui des animaux des lots 3 et 4 (respectivement 58 et 53 g en moins). Enfin, les animaux qui ont reçu du maïs déshydraté ont déposé moins de graisse dans leur carcasse que les animaux recevant l'ensilage, la différence étant significative ($P < 0,01$) dans le cas de maïs déshydraté comprimé.

En conséquence, l'efficacité alimentaire a été la meilleure pour les animaux recevant l'ensilage (lot 1), et la moins bonne pour ceux recevant le maïs déshydraté comprimé (lot 2).

Les résultats de la comparaison des lots 1 et 2 confirment parfaitement ceux obtenus lors de la 2ème expérience qui portait sur la même forme de conditionnement et la même variété de maïs.

Cette expérience a permis en outre de comparer les trois modes de conditionnement du maïs déshydraté. Si l'ingestibilité des formes comprimée et compactée a varié dans le même sens que la finesse des particules du maïs fourrage, il n'en a pas été de même pour la forme condensée ingérée en plus faible quantité que la forme compactée. Nous pouvons cependant admettre que la granulométrie extrêmement faible du maïs condensé (4,3 % seulement des particules supérieures à 1,25 mm) a eu dans ce cas, un effet néfaste sur les quantités ingérées. Néanmoins, les formes condensée et compactée ont permis aux animaux de réaliser le même gain de poids et de fournir des carcasses de composition identique plus lourdes et plus grasses que celles des animaux ayant reçu la forme comprimée. L'efficacité alimentaire de la ration à base de maïs condensé a donc été la meilleure.

Il ressort donc de cette expérience que le maïs déshydraté a été moins bien utilisé que l'ensilage, et que les formes compactée ou condensée semblent être mieux utilisées que la forme comprimée.

- Cinquième expérience (Tableau V)

En 1970, au C.R.Z.V. de Theix, nous avons réalisé une expérience plus précise comportant 2 lots de 12 taurillons Montbéliards et Croisés Charolais, alimentés individuellement et maintenus en stabulation entravée sur paille. Les animaux du lot 1 ont reçu à volonté du maïs ensilé, tandis que ceux du lot 2 ont reçu le même maïs déshydraté et condensé, en quantité telle qu'ils ingèrent chacun

TABLEAU V

UTILISATION DU MAIS DESHYDRATE OU DE L'ENSILAGE DE MAIS
POUR L'ENGRAISSEMENT DES JEUNES BOVINS

Expérience nº 5 (Theix 1970 - 1971) (Taurillons Montbéliards et Croisés × Charolais)

LOTS	1 Ensilage de maïs à volonté	2 Maïs déshydraté condensé limité
POIDS VIF ET GAIN DE POIDS :		
Nombre d'animaux	12	12
Durée moyenne d'engraissement (jours)	199 ± 13	200 ± 14
Age moyen initial (jours)	258 ± 37	258 ± 31
Poids lors de la mise en lot (kg)	268 ± 29	269 ± 25
Poids initial (kg)	305 ± 29	309 ± 23
Poids final (kg)	552 ± 34	559 ± 33
Gain de poids moyen journalier (g/jour)	1 246 ± 203	1 241 ± 128
QUANTITES INGEREES :		
Quantité de matière sèche ingérée (kg)		
- par jour :		
. Maïs	5,59 ± 0,67	5,61 ± 0,68
. Concentré	1,78 ± 0,17	1,78 ± 0,17
. Paille	0,75** ± 0,12	1,17 ± 0,22
- par 100 kg de poids vif :		
. Maïs	1,30 ± 0,15	1,29 ± 0,17
. Total	1,72 ± 0,16	1,66 ± 0,28
- par kg de gain		
. Total (sans paille)	6,03 ± 0,78	5,98 ± 0,63
POIDS, RENDEMENTS ET ETAT D'ENGRAISSEMENT DES CARCASSES		
Poids vif au jour de l'abattage (kg)	552 ± 34	559 ± 33
Poids vif vide (kg)	482 ± 33	483 ± 25
Poids de carcasse chaude (kg)	312 ± 24	314 ± 23
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif}} \times 100$	56,5 ± 1,5	56,2 ± 2,3
$\frac{\text{Poids de carcasse chaude}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	64,8 ± 1,6	65,0 ± 2,5
$\frac{\text{Dépôts adipeux périrénal et précrural}}{\text{Poids de carcasse}} \times 100$	2,91 * ± 0,80	2,16 ± 0,54
$\frac{\text{Dépôts adipeux internes}}{\text{Poids vif vide}} \times 100$	1,72 ± 0,35	1,50 ± 0,30
$\frac{\text{Dépôts adipeux de la 11ème côte}}{\text{Poids de la 11ème côte}} \times 100$	19,2 * ± 2,3	15,8 ± 3,2

★ Différence significative à $P < 0,05$ par rapport au lot 2.

★★ Différence hautement significative à $P < 0,01$ par rapport au lot 2.

N.B. L'ensemble des poids et des gains de poids ont été calculés après ajustement de la courbe de croissance de chaque animal par régression linéaire.

la même quantité de matière sèche que leur homologue du lot 1. Le maïs utilisé était de la variété INRA 258 récolté à une teneur moyenne en matière sèche de 41 %. Il a été ensilé dans des silos tours non hermétiques ou déshydraté dans une installation à haute température. Le maïs déshydraté a ensuite été broyé à la grille de 4 mm et aggloméré avec une presse à filières de 8 mm de diamètre.

En complément de ce maïs plante entière, les animaux ont reçu 1 kg de maïs grain condensé, 1 kg de tourteau de colza toasté et 100 g de composé minéral et vitaminisé.

Comme le prévoyait le protocole expérimental, les animaux des 2 lots ont bien ingéré la même quantité de matière sèche de maïs ; cependant, les estimations des quantités de paille ingérées montrent que les animaux recevant le régime déshydraté en ont consommé beaucoup plus que ceux recevant l'ensilage (1,17 contre 0,75 kg de MS/jour, tableau 5).

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence tant au niveau de la croissance que de l'efficacité alimentaire entre les 2 lots. Cependant, les animaux qui ont reçu le maïs déshydraté ont consommé plus de paille et donc ingéré un peu plus d'énergie brute. En outre, comme dans les expériences précédentes, les carcasses de ces animaux comportaient une plus faible proportion de dépôts adipeux ($P < 0,05$). On peut estimer grossièrement à partir des données existantes (GEAY Y., ROBELIN J.) les différences d'énergie fixée par les animaux des deux lots (au niveau de la carcasse et du corps entier vide) : dans cette expérience, la différence de croît pourrait correspondre à une diminution, comprise entre 7 et 15 %, de la valeur énergétique nette pour l'engraissement du maïs déshydraté condensé par rapport à celle de l'ensilage.

DISCUSSION ET CONCLUSION

A la lumière de l'ensemble de ces résultats portant sur l'utilisation comparée de l'ensilage de maïs et du maïs déshydraté, nous pouvons actuellement dégager les conclusions suivantes :

- Le maïs déshydraté conditionné a toujours été ingéré en quantité plus importante que l'ensilage lorsqu'il a été distribué à volonté. Cette augmentation a varié de 8 à 19 % selon nos essais. Ceci confirme donc les résultats obtenus, de façon plus générale, sur les autres fourrages déshydratés et selon lesquels le mode de conditionnement est un des principaux facteurs de la consommation élevée de ces fourrages.

- L'efficacité alimentaire de la ration à base de maïs déshydraté, lorsque celui-ci est distribué à volonté aux animaux, a toujours été inférieure à celle de la ration à base d'ensilage sauf quand l'ensilage utilisé a été de mauvaise qualité. En effet, dans nos expériences, l'augmentation des quantités ingérées n'a permis d'accroître ni la vitesse de croissance, ni l'état d'engraissement des animaux. Cette moins bonne utilisation de la ration déshydratée semble assez générale. En effet, dans tous les essais réalisés par l'I.T.C.F., l'efficacité alimentaire du maïs déshydraté a été moins bonne que celle de l'ensilage bien qu'il ait permis des vitesses de croissance plus élevées (toutefois, ce n'est pas le même maïs qui a été utilisé sous l'une ou l'autre forme).

Cette diminution de l'efficacité alimentaire résulte essentiellement d'une diminution de la digestibilité comme l'indiquent les résultats des mesures effectuées sur moutons par C. DEMARQUILLY et sur taurillons pour la dernière expérience (tableau 6). Les différences entre ensilage et produit déshydraté sont importantes (-3 à -5 points) et plus proches de celles observées avec les graminées qu'avec les légumineuses (DEMARQUILLY., 1971). Cette diminution importante de la digestibilité ne semble pas pouvoir être compensée par une meilleure utilisation de l'énergie métabolisable comme dans le cas de la luzerne (BERANGER., 1968 ; BERANGER et MARCHADIER., 1970).

TABLEAU VI

RESULTATS DES MESURES DE DIGESTIBILITE EFFECTUEES SUR MOUTONS (1 - 2 et 4) ET SUR TAURILLONS (5)

		Coefficient d'utilisation digestive en % de la matière organique	Niveau d'ingestion en kg de MS par 100 kg de poids vif
Expérience 1 (INRA 260)			
Maïs	ad libitum	64,6	2,25
Déshydraté compacté	quantités limitées	68,0	1,73
Expérience 2 (IOWA 4417)			
Ensilage + urée	ad libitum	71,5	1,96
Déshydraté comprimé	ad libitum	67,8	2,13
Expérience 4 (IOWA 4417)			
Ensilage	ad libitum	71,0	1,51
Déshydraté comprimé	ad libitum	65,5	2,02
	limité	68,3	1,66
Déshydraté compacté	ad libitum	63,7	2,67
	limité	70,8	1,82
Déshydraté condensé	ad libitum	65,1	2,41
	limité	67,8	1,74
Expérience 5			
Ration à base d'ensilage		72,5	1,40
Ration à base déshydraté condensé		66,1	1,40

La déshydratation en elle-même peut aussi avoir provoqué cette diminution de digestibilité. Le maïs est en effet une plante dont la teneur en matière sèche des différents constituants est très hétérogène. Pour sécher la tige, il faut vraisemblablement surchauffer d'autres organes et détruire en partie certains de leurs constituants.

En revanche, lorsque le maïs a été distribué en quantité limitée la différence de digestibilité entre l'ensilage et le déshydraté est devenue alors faible et l'efficacité alimentaire des deux rations a été très voisine (tableaux 3 et 5).

Malgré ces essais, nos connaissances sur l'utilisation du maïs déshydraté plante entière restent encore incomplètes. En particulier, il ne nous est pas possible de proposer une valeur énergétique nette pour l'engraissement des jeunes bovins.

DEMARQUILLY et ANDRIEU (1970) ont pu estimer au cours de 4 essais la valeur énergétique d'un maïs déshydraté distribué à volonté, à partir des besoins de production laitière de vaches Frisonnes et Montbéliardes. Ils ont obtenu des valeurs comprises entre 0,68 et 0,72 UF/kg de matière sèche mais ils n'ont pas réalisé de comparaison avec le même maïs ensilé. A partir de nos résultats, nous pouvons considérer que la valeur énergétique du maïs déshydraté se situe entre 5 et 20 % au-dessous de celle du maïs ensilé.

De ces différents essais, nous ne devons cependant pas conclure que le maïs déshydraté ne présente pas d'intérêt.

En effet, distribué à volonté aux animaux, il leur permet d'atteindre des gains de poids vif élevés (de 1 000 à 1 300 g/j) avec des rations comprenant 80 à 90 % de ce produit ; il présente en outre les mêmes avantages que les autres fourrages déshydratés : facilité de récolte, de manutention, de stockage et de distribution. Contrairement au maïs ensilé, il peut se commercialiser aisément et à tout instant.

En outre, dans la mesure où il est possible de rationner les animaux, le maïs déshydraté a une valeur alimentaire très peu différente de celle du maïs ensilé tout en conservant les avantages précédents des fourrages déshydratés.

Enfin, lorsqu'il remplace en partie les aliments concentrés, sa valeur de substitution semble élevée, comme l'ont montré les premiers résultats des études réalisées par l'I.T.C.F.

Il importe donc de poursuivre ces études et de préciser la valeur énergétique nette du maïs déshydraté lorsqu'il est utilisé en faible ou en forte proportion dans la ration.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERANGER C., 1968. Les fourrages déshydratés dans l'alimentation des bovins producteurs de viande. Fourrage n° 36, p. 82-95.

BERANGER C., MARCHADIER J., 1970. Production de viande par les jeunes bovins à partir de fourrages déshydratés. C.R. des Journées d'Etude sur la Production de Viande de Jeunes Bovins. S.E.I., étude n° 46, p. 207-237.

COTTYN B.G., 1969. Revue de l'agriculture. **4**, 535-542.

DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., 1970. Observations préliminaires sur l'utilisation de la plante de maïs déshydratée et compactée dans l'alimentation des vaches laitières. Ann. Zootech. **9**, (1) 79-83.

DEMARQUILLY C., JOURNET M., LELONG C., HAUREZ Ph., MALTERRE C., Composition, valeur alimentaire et utilisation par le ruminant du maïs plante entière. N° spécial B.T.I. (sous presse).

DEMARQUILLY C., 1971. Influence de la déshydratation et du conditionnement sur la valeur alimentaire des fourrages. Compte-Rendu du Xème Congrès Européen du Génie Rural, PARIS.

GEAY Y., BERANGER C., 1969. Estimation de la composition de la carcasse de jeunes bovins à partir de la composition d'un morceau monocostal au niveau de la 11ème côte. Ann. Zootech. **18**, (1)65-77.

Institut Technique des Céréales et des Fourrages. Compte-rendu d'essai.

1968 : Utilisation du maïs déshydraté par les jeunes bovins.

1970 a : Utilisation du maïs déshydraté, de l'ensilage de maïs et de l'urée par de jeunes bovins. Quimper, essais n° 3 et 4. Réf. 0. 8. 03. 61.

1970 b : Etude sur l'utilisation du maïs fourrage déshydraté par les jeunes bovins. Vaux-sur-Aure, essais n° 3. Réf. 0. 8. 05. 61.

1970 c : Utilisation du maïs fourrage ensilé à différentes teneurs en matière sèche et du maïs fourrage déshydraté condensé ou compacté pour la production de jeunes bovins. Quimper, essai n° 6. Réf. 0. 8. 17. 61.

MALTERRE C., LELONG C., HAUREZ Ph., 1970. Utilisation de l'ensilage de maïs pour la production de jeunes bovins. C.R. de Journées d'Etude sur la Production de Viande de Jeunes Bovins. S.E.I., étude n° 46, p. 253-279.

Editions S . E . I .

I . N . R . A .

C.N.R.A. Route de Saint-Cyr

78 - Versailles